

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ
СІКОРСЬКОГО»**

Інженерно-фізичний факультет

Кафедра ливарного виробництва чорних і кольорових металів

«На правах рукопису»
УДК 621.745.55

До захисту допущено
Завідувач кафедри
М.М. Ямшинський
(ініціали, прізвище)

“ ” _____ 2018 р.

Магістерська дисертація

за спеціальністю 136 - Металургія
(код та назва спеціальності)

на тему: **«Розроблення технології виготовлення зносостійких
виливків методом поверхневого легування»**

Виконав: студент 6-го курсу, групи ФЛ-61м

	<u>Завертайло Микола Вікторович</u> (прізвище, ім'я, по батькові)	_____ (підпис)
Науковий керівник	<u>доцент, доцент, к.т.н., Ямшинський М.М.</u> (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)	_____ (підпис)
Консультант з експериментальної частини	<u>к.т.н., доцент, Федоров Г.Є.</u> (науковий ступінь та звання, прізвище, ініціали)	_____ (підпис)
Консультант з економічно-організаційної частини	<u>к.е.н., ст. викл. Нараєвський С.В.</u> (науковий ступінь та звання, прізвище, ініціали)	_____ (підпис)
Консультант з нормоконтролю	<u>к.т.н., доц. Федоров Г.Є.</u> (науковий ступінь та звання, прізвище, ініціали)	_____ (підпис)
Рецензент	<u>д.т.н., професор, Хижняк В.Г.</u> (науковий ступінь та звання, прізвище, ініціали)	_____ (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2018 р.

**Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”**

Факультет Інженерно-фізичний

Кафедра Ливарного виробництва чорних і кольорових металів

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність 136 - Металургія

Спеціалізація Ливарне виробництво та комп'ютеризація процесів лиття

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

М.М. Ямшинський

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ ” _____ 2018 р.

**З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ ДИСЕРТАЦІЮ СТУДЕНТУ**

Завертайлу Миколі Вікторовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації: «Розроблення технології виготовлення зносостійких виливків методом поверхневого легування».

науковий керівник: Ямшинський Михайло Михайлович, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «22» березня 2018 року № 994-с

2. Строк подання студентом дисертації: 12 травня 2018 року

3. Об'єкт дослідження: процеси зносостійкого поверхневого легування сталевих виливків

4. Предмет дослідження: зносостійкість, твердість, структура сплавів на основі заліза

5. Перелік питань, які потрібно розробити: 5.1 Опрацювати та проаналізувати літературу за темою дисертаційної роботи. 5.2 Оптимізувати методику дослідження. 5.3 Виготовити та дослідити зразки. 5.4 Провести експерименти.

6. Перелік ілюстративного матеріалу: Презентація

7. Перелік публікацій: 7.1 Розроблення технологій виготовлення виливків із диференційованими властивостями поверхні/ Завертайло М.В., Ямшинський М.М. // IX Міжнародна науково-технічна конференція Нові матеріали і технології в машинобудуванні-2017: матеріали науково-технічної конференції, 30...31 травня 2017 р., м. Київ / загальна редакція Р.В. Лютий, І.М. Гурія. – Київ: НТУУ «КПІ», 2017. – С 70-71. 7.2 Розроблення технологій виготовлення виливків із диференційованими властивостями поверхні/ Завертайло М.В., Ямшинський М.М.,

Федоров Г.Є. // X Міжнародна науково-технічна конференція Нові матеріали і технології в машинобудуванні-2018: матеріали науково-технічної конференції, 24...25 квітня 2018 р., м. Київ / загальна редакція Р. В. Лютий, І. М. Гурія. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – С 63-64.

8. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Експериментальна частина	Федоров Г.Є., доцент		
Економічно-організаційна частина	Нараєвський С.В., старший викладач		

9. Дата видачі завдання 01.09.2016 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Результати досліджень НДРС	05.09.16...05.02.18р.	
2	Переддипломна науково-дослідна практика	05.02...09.03.2018р.	
3	Опрацювання та аналіз літератури за темою дослідження	07.02...16.03.2018р.	
4	Оптимізація методики дослідження	07.02...10.02.2018р.	
5	Проведення експериментів	14.02...12.03.2018р.	
6	Виготовлення та дослідження зразків	15.02...12.04.2018р.	
7	Аналіз результатів досліджень	26.02...17.04.2018р.	
8	Виконання організаційно-економічної частини	30.04...10.05.2018р.	
9	Виконання ілюстративної частини роботи	19.04...08.05.2018р.	
10	Оформлення магістерської дисертації	20.02...11.05.2018р.	
11	Подання магістерської дисертації до захисту	12.05.2018р.	
12	Рецензування магістерської дисертації	15..17.05.2018р.	
13	Захист магістерської дисертації	22.05.2018р.	

Студент

_____ (підпис)

Завертайло М.В.
(прізвище та ініціали)

Науковий керівник

_____ (підпис)

Ямшинський М.М.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація: 75 стор., 7 табл., 13 рис., 22 посилань, 2 додатка.

Об'єкт дослідження – процеси зносостійкого поверхневого легування сталевих виливків.

Мета роботи – дослідження впливу процесів поверхневого легування на структуру та властивості сталі.

Методи дослідження – в роботі використано сучасні методики визначення структури сталі, ливарних та механічних властивостей.

Результати магістерської дисертації – розроблено методику зносостійкого поверхневого легування сталей. Для виготовлення зносостійких сталевих виливків доцільно використовувати феромарганець та феротитан фракції 0315.

Ступінь впровадження – рекомендовані зносостійкі поверхні випробувано в ливарній лабораторії промислового типу.

Галузь використання – гірничорудна, цементна, будівельна, машинобудівна.

Економічна ефективність – розрахунковий коефіцієнт економічної ефективності дослідження ($E_d = 2,02$ проти $E_d = 1$) підтверджує доцільність використання результатів дисертаційної роботи.

Прогнозні припущення – рекомендовані до використання в магістерській дисертації матеріали, щодо використання поверхневого легування можна використовувати у виробництво.

ПОВЕРХНЕВЕ ЛЕГУВАННЯ, ЗНОСОСТІЙКІСТЬ, ФЕРОСПЛАВИ, СТАЛЬ, ТВЕРДІСТЬ, ТОВЩИНА ЛЕГОВАНОГО ШАРУ, НЕМЕТАЛЕВІ ВКРАПЛІНИ

ABSTRACT

Master's thesis: 75 pages, 7 tables, 13 pictures, 22 references, 2 appendixes

The object of the study is the processes of wear-resistant surface alloying of steel castings.

The purpose of the work is to study the influence of surface alloying processes on the structure and properties of steel.

Methods of investigation - modern methods of determining the structure of steel, foundry and mechanical properties have been used in the work.

Results of master's dissertation - the technique of wear-resistant surface alloying of steels is developed. For the manufacture of wear-resistant steel castings it is expedient to use ferromanganese and ferrotitanium fractions 0315.

The degree of implementation - recommended wear-resistant surfaces tested in the foundry laboratory of industrial type.

The field of use is mining, cement, building, machine-building.

Economic efficiency - the estimated coefficient of economic efficiency of the research ($Ed = 2.02$ vs. $ED = 1$) confirms the expediency of using the results of the dissertation work.

Foreseeable assumptions - the materials recommended for use in the master's thesis, on the use of surface doping can be used in production.

SURFACE ALLOYING, WEAR RESISTANCE, FERROALLOYS, STEEL,
HARDNESS, THICKNESS OF ALLOYING LAYER, NONMETALLIC
INCLUSIONS

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	10
ВСТУП.....	11
1 СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	13
1.1 Промислові зносостійкі сплави й вимоги які до них пред'являють.....	13
1.1.1 Зносостійкі чавуни.....	13
1.1.1.1 Вплив карбідів на зносостійкість білих чавунів.....	14
1.1.1.2 Вплив металевої основи на зносостійкість білих чавунів.....	14
1.1.1.3 Формування структури білих чавунів.....	15
1.1.1.4 Формування мікроструктури металевої основи білих чавунів.....	15
1.1.1.5 Хімічний склад чавунів.....	16
1.1.2 Високовуглецеві сталі.....	17
1.1.2.1 Штампові сталі.....	19
1.1.2.2 Інструментальні сталі.....	20
1.1.2.3 Пружинні сталі.....	21
1.1.3 Зносостійкі високолеговані сталі.....	21
1.2 Вплив легувальних елементів на зносостійкість сплавів на основі заліза.....	23
1.3 Технології поверхневого легування.....	24
1.4 Висновки і постановка завдання досліджень.....	25
2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ.....	27
2.1 Вибір та підготовлення вихідних матеріалів для поверхневого легування вливків у ливарній формі.....	27
2.2 Вибір зразків для дослідження процесів поверхневого легування.....	29
2.3 Технологія нанесення легувальних покриттів на поверхні форм і стрижнів	32

2.4 Шихтові матеріали та технологія виплавлення базового сплаву.....	33
2.5 Дослідження твердості зразків, товщини легувального шару та структури металу основи й легованого шару.....	33
2.6 Висновки до другого розділу.....	34
3 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ПОВЕРХНЕВОГО ЛЕГУВАННЯ.....	35
3.1. Дослідження процесів поверхневого легування з використанням окремих феросплавів	35
3.2 Дослідження процесів зносостійкого поверхневого легування механічними сумішами.....	38
3.3 Дослідження структури та визначення індексу забрудненості легованого шару.....	44
3.4 Висновки до третього розділу.....	46
4 ОРГАНІЗАЦІЙНО – ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	47
4.1 Науково-технічна актуальність теми дослідження.....	47
4.2 Мета і завдання магістерської дисертації.....	48
4.3 Розрахунок планової собівартості проведення дослідження.....	48
4.3.1 Визначення заробітної плати науково-дослідницького персоналу.....	49
4.3.2 Визначення розміру єдиного соціального внеску.....	51
4.3.3 Визначення вартості матеріалів для проведення досліджень.....	51
4.3.4 Визначення вартості спеціального обладнання і приладів.....	52
4.3.5 Визначення вартості робіт і послуг сторонніх організацій.....	52
4.3.6 Визначення витрат на службові відрядження.....	52
4.3.7 Визначення інших прямих неврахованих витрат.....	52
4.3.8 Визначення накладних витрат.....	53
4.3.9 Визначення планової кошторисної вартості магістерської дисертації.....	53

4.4	Визначення очікуваних результатів магістерської дисертації та розрахунок показників економічної ефективності.....	54
4.5	Висновки до четвертого розділу.....	58
5	БІЗНЕС-ПРОЕКТ.....	59
5.1	Команда	59
5.2	Назва проекту	59
5.3	Короткий опис проекту.....	59
5.4	Бізнес – модель.....	60
5.4.1	Коштовий продукт.....	60
5.4.2	Сегмент споживачів.....	60
5.4.3	Канали збуту.....	60
5.4.4	Взаємодія із споживачами.....	60
5.4.5	Прибуток (монетизація)	61
5.4.6	Ключові види діяльності	61
5.4.7	Ключові ресурси.....	61
5.4.8	Ключові партнери.....	61
5.4.9	Витрати.....	61
5.5	Споживчі властивості товару.....	62
5.6	Дослідження ринку.....	62
5.7	Дослідження конкурентного оточення.....	62
5.8	Маркетингова стратегія просування.....	62
5.9	Елементи фінансового плану.....	63
5.9.1	Опис бізнес – проекту.....	63
5.9.2	Опис товару/ послуги/ технології.....	63
5.9.3	Маркетинг та продаж.....	63
5.9.4	Фінансовий план.....	64
5.9.5	Резюме.....	64
5.10	Подальші кроки в проекті.....	64
5.10.1	Наукова діяльність.....	64
5.10.2	Організаційна діяльність.....	65

5.10.3 Маркетингова діяльність.....	65
5.10.4 Комерційна діяльність.....	65
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	67
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	69
ДОДАТОК А.....	72
ДОДАТОК Б.....	74

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,
СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ**

БМП – бойова машина піхоти

HRC – твердість за методом Роквелла, шкала «С»

HRA – твердість за методом Роквелла, шкала «А»

МПа – мегапаскаль

МД – магістерська дисертація

ВСТУП

Одним із напрямків розвитку машинобудування на сучасному етапі є збільшення довговічності служіння машин і механізмів, особливо в складних умовах експлуатації.

Підвищення довговічності і експлуатаційної надійності деталей може досягатися керуванням процесу структуроутворення поверхневого шару, оскільки зношення та пошкодження литих деталей починається, переважно, з поверхні.

Існуючі методи, що направлені на підвищення стійкості зношуваних поверхонь деталей, не завжди дозволяють вирішити цю проблему економічно і технологічно шляхом використання таких технологій для виготовлення широкого кола машинобудівних деталей, які працюють в умовах високих зносу або температур. Литі деталі устаткування, яке використовується в теплоенергетиці, гірничодобувній промисловості, металургії та інших галузях, виготовляються із спеціальних сплавів, що вмістять в своєму складі значну кількість таких дорогих і дефіцитних елементів як хром, нікель, вольфрам, молібден, титан, мідь, марганець та ін.

Більшість деталей виготовляють з використанням із литих заготовок, тобто виливків, довговічність яких в значній мірі визначає надійність машини і її продуктивність. Для високої поверхневої міцності і зносостійкості литих деталей в машинобудуванні використовують різні види термохімічного оброблення, електрохімічні покриття і спеціальні наплавки

Умови експлуатації таких деталей показують, що технологія їх виготовлення з використанням об'ємного легування сплавів не завжди себе виправдовує, а інколи шкідлива, оскільки лише невелика товщина деталей зношується, окислюється або пошкоджується. В таких випадках достатньо було б забезпечити високі експлуатаційні характеристики тільки робочих поверхонь литої деталі. Для досягнення цієї мети перспективними можуть бути способи виробництва виливків із нелегованих сплавів на основі заліза з поверхневим

композиційним або легованим шаром, який під час утворюється під час формування заготовки в ливарній формі.

Одним із таких способів підвищення зносостійкості литих деталей є поверхневе легування виливків або окремих їх частин безпосередньо в ливарній формі. Процес легування здійснюють шляхом нанесення на поверхні ливарних форм паст, фарб, облицьовувальних сумішей або вставок, наповнювачами яких є легувальні компоненти. Під час взаємодії з металом, що заливається у форму, вони утворюють легований поверхневий шар із спеціальними властивостями.

1 СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Зносостійкі сплави промислового призначення й вимоги які до них пред'являють

Дані сталі використовуються в різних напрямках, один з яких є напрямок виготовлення траків для гусениць тракторів, екскаваторів, бмп, танків. Також данні сталі використовуються для деталей які піддаються абразивному зношенню при невисоких навантаженнях.

Вироби із зносостійких сталей працюють як при відсутності динамічного навантаження так і при його наявності.

Проблемою широкого використання високовуглецевих сталей є наявність в їхньому складі дефіцитного нікелю, це є і недоліком для сталі як такої.

Аналіз літературних джерел показує, високовуглецеві низьколеговані сталі використовують для виготовлення деталей броньованого устаткування аглофабрик на заводах чорної металургії [1], а значить що їх можливо і треба використовувати для зносостійких виливків.

1.1.1 Зносостійкі чавуни

Доевтектичні та евтектичні білі чавуни з перлітною, мартенситною і мартенситно-аустенітною матрицею використовують як зносостійкі матеріали [2]. Білі чавуни відрізняються від інших чавунів високою крихкістю та твердістю, як наслідок вони погано обробляються різальним інструментом. Але завдяки високому опору до абразивного зносу їх використовують для виготовлення куль для млину та зірочок для очищення литва від пригару.

Завдяки карбідам, що утворюються внаслідок використання молібдену, ванадію, хрому, вольфраму, титану та інших карбідоутворювальних елементів, білі леговані чавуни мають високий опір абразивному зносу.

Хром є основним легувальним елементом для зносостійких чавунів.

Для покращення твердості, в'язкості та механічних властивостей до чавуну додають мідь, молібден та нікель, паралельно збільшуючи вміст марганцю до 5 відсотків, а хрому в межах 10...14 %[3].

Серед високохромистих чавунів, в країнах СНД, залишається хромонікелевий чавун 280Х28Н2. Залишається він по причині технологічності при виробництві литих деталей і високій зносостійкості, хоча при цьому не має надвисоких значень по стійкості в різних умовах експлуатації.

1.1.1.1 Вплив карбідів на зносостійкість білих чавунів

В чавунах, які містять до 7% хрому, утворюються карбіди цементитного типу. При збільшенні вмісту хрому в чавуні мікротвердість карбідів зростає. Максимальну зносостійкість мають чавуни з карбідами $(\text{Cr}, \text{Fe})_7 \text{C}_3$ при відсотковому вмісті хрому вище 11...13%.

Збільшення кількості карбідів підвищує зносостійкість білих чавунів. Оптимальним є вміст 13 % хрому та 3,3 % вуглецю, які дають приблизно 30% карбідів. Подальше зростання кількості карбідів не призводить до зростання зносостійкості.

Збільшення розмірів карбідних включень знижує зносостійкість чавуну. Великі карбіди подрібнюються і викришуються. Дрібні – передають частину навантажень на металеву матрицю і не руйнуються.

Орієнтування карбідів по відношенню до зношуваної поверхні спричиняє вплив на зносостійкість, оскільки карбід хрому має виражену анізотропію[4].

1.1.1.2 Вплив металевої основи на зносостійкість білих чавунів

Висока зносостійкість білого чавуну в значній мірі залежить від металевої основи, яка повинна мати високу мікротвердість, забезпечувати гарне закріплення карбідів та не деформуватися при їх навантаженні. Збільшення кількості карбідів типу $(\text{Cr}, \text{Fe})_7 \text{C}_3$ в структурі призводить до підвищення зносостійкості чавуну з

перлітною основою на 50 відсотків, а мартенситною основою втричі. Зносостійкість знижується при появі в структурі невеликої кількості, до десяти відсотків, продуктів перлітного перетворення аустеніту.

Якщо аустеніт стабільний то не піддається наклепуванню в процесі тертя, він знижує зносостійкість, якщо піддається то він перетвориться в мартенсит і не вплине на зносостійкість, але якщо буде ударно – абразивне зношення то аустеніт перетвориться в мартенсит і підвищить зношування[4].

1.1.1.3 Формування структури білих чавунів

Особливістю мікроструктури білих чавунів є те, що за структуру а значить за зносостійкість відповідає той тип карбіду який утворився першим.

Кількість карбіду типу $(Cr, Fe)_7C_3$ залежить від вмісту вуглецю. Маргенць, нікель та мідь підвищує розчинність вуглецю в аустеніті. А значить зменшують кількість карбідів.

Розміри карбідів залежать від швидкості охолодження виливка. Зниження швидкості охолодження виливка призводить до збільшення розмірів карбідів [4].

1.1.1.4 Формування мікроструктури металевої основи білих чавунів

Для отримання мартенситної структури необхідно ввести велику кількість нікелю 3...7% в залежності від чавуну.

Для отримання мартенситної металевої основи чавуни з вмістом 8% хрому, мають пройти термічну обробку. Але враховуючи їх низьку теплопровідність необхідно провести охолодження від температури аустенізації на спокійному повітрі.

Враховуючи їх низьку прокалюваність білі хромисті чавуни легують елементами: молібденом, нікелем, марганцем, та їх сумішами.

Легування марганцем стабілізує аустеніт в усіх температурних зонах перетворень. Вплив марганцю та молібдену на прокалюваність ефективніше при одночасному їх використанні [4].

1.1.1.5 Хімічний склад чавунів

Хімічний склад чавунів з карбідами типу M_3C . Вміст хрому в таких чавунах не перевищує 4-5%. Чавуни, леговані тільки хромом, мають перлітну структуру матриці. При цьому їх твердість напряму пов'язана з товщиною стінки виливка.

Чавуни з підвищеним вмістом нікелю або марганцю мають мартенситно-аустенітну матрицю. Низькохромисті чавуни, леговані 3,0-5,0% Ni, отримали названня «ніхард».

Кількість карбідів в структурі чавунів типу «ніхард» тим більше, чим вищий вміст вуглецю, а кількість аустеніту залежить в основному від вмісту нікелю і швидкості охолодження.

При збільшенні швидкості охолодження виливків за рахунок зменшення товщини стінки виливки або застосування металевих форм твердість зростає.

Термообробка чавунів типу «ніхард» має на меті зниження залишкових напруг і зменшення кількості остаточного аустеніту в структурі.

Подвійна термічна обробка з дестабілізацією аустеніту в бейнітній області (450 ± 25 ° C) і в мартенситній області (275 ± 25 ° C) застосовується для отримання структури з мінімальною кількістю залишкового аустеніту. Марганцево-хромистий чавун типу «елманайт» має перлітну структуру металевої основи, чавуни типу ЧГ7Х4- мартенситно-аустенітну. Виливки з цих чавунів використовуються в литому стані.

У хромонікелевих чавунах типу «ніхард-4» завдяки підвищеному вмісту нікелю вже при охолодженні виливків в формі досягається зменшення перлітного перетворення. Чавуни типу «ніхард-4» мають мартенситно-аустенітну матрицю. Хімічний склад чавуну типу «ніхард-4», забезпечує максимальну твердість у виливках різного перетину [4].

1.1.2 Високовуглецеві сталі

Високовуглецева сталь володіє певною кількістю переваг та вдало використовується для виготовлення виробів, що експлуатуються в різних галузях промисловості. Для вдалого використання цих сталей необхідно досконально розбиратись в її характеристиках та властивостях, оскільки її використання в інших галузях або не за призначенням є недоцільним.

Сталь – сплав заліза та вуглецю при масовій долі останнього в межах 0,02...2,14 %. В залежності від масового вмісту вуглецю в сталі є:

- низько вуглецеві
- середньо вуглецеві
- високо вуглецеві

У високо вуглецевих сталях вміст вуглецю, починається з 0,6 %.

Особливістю високо вуглецевих сталей є погана зварюваність: в зоні зварного шва утворюються тріщини. Це пояснюється загартуванням металу в тих зонах, де він опиняється під дією високих температур.

Через це зварювання таких сталей та виробів з них ускладнюється, але можливе при використанні електродів з невеликою тепловою потужністю. Зварювальну дугу використовувати відновного типу. Використання окислювальної дуги призведе до випалювання вуглецю, як результат метал в районі зварного шва буде пористим.

Хоча цього можна уникнути, заздалегідь прогрівши з'єднувані вироби до температури 200...250 °C [5].

Вуглець серйозно впливає на механічні та якісні характеристики сталевих сплавів. При збільшенні вуглецю в сталі, в ній збільшується кількість цементиту, і зменшується кількість фериту. Цементит спричиняє негативний вплив на пластичність сталі, але позитивно впливає на такі характеристики як міцність та твердість. Ця залежність правдива для вмісту вуглецю до 1 %, в сталевих виливках. При збільшенні вмісту вуглецю понад 1 % в структурі сталевих

виливка формується сітка вторинного цементиту. Ця сітка знижує міцність сталевих виливків.

При підвищенні вмісту вуглецю в сталі відбуваються і інші зміни. Електричний опір зростає, ударна в'язкість зменшується. Зростає показник температури за якого матеріал переходить від в'язкого до крихкого руйнування. Через особливості структури знижується рідко текучість, як результат такі вироби гірше піддаються обробці тиском та різанням. Для сталей даних марок уникають використання зварювання через його складність та ненадійність і невисоку міцність отриманих з'єднань. Основне призначення цих сталей отримання канатного дроту. Для цього використовують патентування, швидко охолоджують до отримання дрібнозернистої структури і тут же піддають волочінню.

Марганець суттєво впливає на якісні показники високо вуглецевих сталей окрім самого вуглецю, який також має суттєвий вплив на характеристики високовуглецевих сталей. А впливає марганець на наступні характеристики: зносостійкість, міцність, прокалюваність.

До високо вуглецевих сталей також належать:

- Штампові сталі
- Інструментальні сталі
- Деякі види пружинних сталей

1.1.2.1 Штампові сталі

Ці сталі використовуються для виготовлення інструменту, який призначений для деформації металу без зняття стружки.

За умовами роботи такі сталі поділяють на сталі для холодного деформування та сталі для гарячого деформування.

В залежності від умов в яких працює інструмент можуть змінюватись вимоги до характеристик сталі з якої виконаний інструмент, але основними вимогами є твердість, теплостійкість, зносостійкість і т. д.

Елементи, що використовують для легування штампованих сталей змінюються в залежності від вимог які до них пред'являють. Їх вибір залежить від наступних умов:

- Комплексне легування кількома елементами в мінімальній кількості
- Склад сталі має забезпечувати максимальні значення властивостей інструменту
- Для штампованих сталей необхідна спеціалізація з призначенням.

Штамповані сталі легують хромом, вольфрамом, молібденом, ванадієм, кремнієм, інколи марганцем, кобальтом, титаном. Розглянемо елементи які впливають на зносостійкість штампованих сталей.

Хром. Змінюється від 0,5 до 13 %. Може утворювати спеціальні карбіди Me_7C_3 . Впливає на прогартованість, дисперсійну твердість і теплостійкість. Для високої зносостійкості вміст хрому в штампованих сталях доводять до 12 %, для збільшення кількості високотвердих карбідів.

Молібден. Може утворювати карбіди типу Me_2C і MeC . Сприяє подрібненню аустеніту. Додатково підсилює дисперсійне тверднення, сприятливо впливає на зменшення схильності до відпускнуї крихкості. Але при 1,5...2,0% підвищує схильність сталі до знеуглецювання, знижує міцність при згинанні. Вміст обмежують 1,5...1,8 %.

Маргенець. Підвищує прогартованість. Є корисним для легування сталей для холодного деформування з високою ударною в'язкістю. 70ХГ2ВМ і 70ХГНМ[6].

1.1.2.2 Інструментальні сталі

Велика група сталей[], які після термічної обробки набувають високих твердості міцності, зносостійкості, в'язкості та теплостійкості.

Заевтектоїдні та ледебуритні сталі мають тверду металеву основу, піддають відпуску для зберігання мартенситної структури, мають високу твердість: 58...69 HRC.

Доевтектоїдні, дещо менша група. Набувають мартенситну будову. Піддаються відпуску для отримання троститу: твердістю 45...55 HRC.

За хімічним складом ділять на 2 групи:

- Вуглецеві та леговані, що містять до 5% легувальних елементів.
- Високо та складно леговані, містять до 45% легувальних елементів

За теплостійкістю їх ділять на 3 групи:

- Нетеплостійкі, висока твердість, зносостійкість і міцність внаслідок мартенситного перетворення під час гартування.
- Напівтеплостійкі, висока твердість та міцність, але при нагріванні до 200...400° С відокремлюються карбіди хрому, внаслідок чого ці сталі зберігають твердість до більш високих температур.
- Теплостійкі, висока твердість, міцність, зносостійкість за рахунок подвійного зміцнення: мартенситного та дисперсійного.

Сталі для різального інструменту повинні мати високу твердість, міцність та опір пластичній деформації.

Вуглецеві інструментальні сталі. Дешеві, використовують для невідповідального різального інструменту, який не піддається нагріванню, і працює на малих швидкостях різання.

Леговані інструментальні сталі. Легування дозволяє зменшити недоліки вуглецевих сталей, підвищує прогартованість, а також дозволяє отримати інші важливі властивості.

Швидкорізальні сталі. Характеризуються високою теплостійкістю та червоностійкістю при збереженні високої твердості та зносостійкості. Неможливі без вольфраму та молібдену [6].

1.1.2.3 Пружинні сталі

Мають збільшену межу текучості[7]. Ця особливість дає змогу виливкам після зняття напруження повернутись в своє попереднє положення. Прикладами високо вуглецевих пружинних сталей є

65Г – конструктивні елементи, які не піддаються ударним навантаженням

65ГА – дріт після термообробки

65С2ВА – сильно навантажені деталі

70Г2 – ножі землерийних машин

1.1.3 Зносостійкі високолеговані сталі

Практика показує, що 50 % виливків, що виготовляються з високолегованих сталей приходяться на високо марганцеву сталь 110Г13Л. Сталь відносно проста в приготуванні, має невисоку собівартість, має високу в'язкість та опір ударним навантаженням, гарна наклепуваність в холодному стані.

Тяжко обробляється на метало ріжучих верстатах , тому зазвичай її використовують для виготовлення деталей, що не потребують, або майже не потребують механічної обробки.

Високу зносостійкість високомарганцевих сталей пояснюють їх властивістю легко наклепуватись під час холодної деформації в широкому діапазоні швидкостей, або іншими словами витримувати великі напруження та в короткий

час створювати поверхневий шар, який чинитиме опір зносу. Після зношення першого шару утворюється наступний і теоретично до тих пір поки деталь не зноситься повністю.

Високомарганцеву сталь марки 110Г13Л використовують для виготовлення деталей що працюють під дією абразивного зношення та високих ударів та тисків. Для прикладу хрестовини залізничних та трамвайних колій, щоки дробарок, траки гусеничних машин, черпаки землечерпальних машин.

Сталь при цьому містить 0,9...1,3 % С, 11,5...14,5 % Мп [8].

Оскільки структурно в сталі з'являються після процесу лиття надлишкові карбіди, які осідають на межах зерен, це призводить до зниження міцності та в'язкості сталі. Через це литі вироби, що виготовляють з цієї сталі обов'язково гартують нагріваючи до температури 1000 °С. В результаті карбіди розчиняються і сталь утворює більш стійку аустенітну структуру. Вона володіє наступними механічними властивостями: $\sigma_B = 800...1000$ МПа; $\sigma_{0,2} = 250...350$ МПа;

$\delta = 35...45$ %; 180...220 НВ. Сталь з аустенітною структурою характеризується низькою межею текучості, що становить приблизно одну третину від тимчасового опору, і сильно зміцнюється під дією холодної деформації[9].

Сталь має гарну зносостійкість тільки за умови ударних навантажень, при деформації аустеніту і утворення ϵ -мартенсіта з ГЦК-граткою. При чисто абразивному зношуванні або при незначних ударних навантаженнях з абразивним зношуванням мартенситне перетворення не виникає і зносостійкість сталі 110Г13Л невисока [9]. При підвищеному вмісті фосфору сталь 110Г13Л холодноламка. При вмісті в сталі більше 0,05% Р по межах зерен утворюється хрупка фосфідна евтектика, на якій зароджується і зростає хрупка тріщина при низьких температурах, тому при використанні стали в північних районах вміст фосфору має дорівнювати або менше 0,02...0,03 % [10].

При ударно-абразивному зношенні та контактено-ударному навантаженні високою стійкістю володіє сталь марки 60Х5Г10Л, яка при використанні зазнає мартенситних перетворень.

Сталі що мають нестабільний аустеніт 0X14AГ12, 30X10Г10, 0X14Г12М, ідеально підходять для деталей що піддаються зношуванню при кавітаційній корозії (Судові гребні гвинти, лопасті гідронасосів центробіжних насосів та турбін), зазнають при експлуатації часткове мартенситне перетворення ($\gamma \rightarrow \varepsilon$ мартенсит) перетворення[11].

В процесі роботи виробів, схильних до кавітаційної ерозії, деформації і руйнування поверхневих шарів призводять до утворення на поверхні цих деталей нового шару мартенситу, з що має високу міцність. Цей процес відбувається постійно по мірі зношення виробів, що і пояснює високу стійкість вищенаведених марок сталей.

1.2 Вплив легувальних елементів на зносостійкість сплавів на основі заліза

Марганець. Самий поширений легувальний елемент. При додаванні в сталь утворює карбіди Mn_3C , при вмісті до 3 %, при збільшенні вмісту до 10% утворює складні карбіди, а більше 10% такі ж складні карбіди, але з більшою кількістю марганцю [12, 13]. Сприяє утворенню стабільної аустенітної структури. Негативно впливає на ливарні властивості сталей, збільшує кількість холодних та гарячих тріщин. При вмісті більше 12 % марганцю починається невеликий ріст зерен аустеніту, з умови гартування та збільшення температури. Це знижує зносостійкість, але підвищує ударну в'язкість.

Хром. Один з найпоширеніших легувальних елементів. Його вводять в марганцеві сталі для збільшення їх зносостійкості. Зі збільшенням хрому в сталі вдається урівноважити твердість по всьому об'єму вилівка та покращити прогартованість [14].

Ідеальним відсотковим вмістом хрому в сталі є вміст до 2 %. Оскільки при його збільшенні до 3% це помітно зменшує ударну в'язкість, хоча і підвищує зносостійкість на 20...30%.

Титан. Сильний елемент з точки зору утворення карбідів.

Введення його в сталь сприяє подрібненню первинного зерна та підвищенню зносостійкості сталі. За рахунок утворення карбідів та карбонітридів, які слугують центрами кристалізації, та за рахунок їх високої температури плавлення.

Бор. Є активним модифікатором для конструкційних легованих сталей. Бор подрібнює первинне зерно та здійснюється додаткове розкислення та деазотування сталі [10].

При легуванні бором в сталі підвищується експлуатаційні та технологічні властивості. Данний момент дозволяє знизити вміст в сталі нікелю, ванадію та хрому. При цьому його вводять в дуже невеликих кількостях, а порівнянні з іншими легувальними елементами, а саме 0,001...0,005 %.

Бор є ефективніший за інші присадки, такі як, хром, молібден та ванадій. Його вміст в 0,0015...0,0030 % рівнозначний 0,10...0,15 % молібдену, 0,3 % хрому та 0,12% ванадію [13].

Бор активно взаємодіє з багатьма елементами (C, N, перехідними матеріалами) з утворенням багатьох фаз (боридів, карбоборидів) які мають високу твердість та зносостійкість. [15]

Молібден. Молібден позитивно впливає на властивості сталі. Підвищення міцності, ударної в'язкості та пластичності в 1,2...1,3 рази відбувається при введенні 0,5...0,6 Молібдену. Як результат росте і зносостійкість в таку ж кількість разів [10].

1.3 Технології поверхневого легування

Одною з можливостей підвищити експлуатаційні характеристики виробів на основі заліза є можливість покращення поверхневого шару методами які дозволятимуть запрограмувати структуру та властивості.

Для композиційних виливків це досягається способом поверхневого легування використовуючи вставки, присадки, різні обмазки. Вставки в свою

чергу можуть бути виготовлені методом гальванопластики, точного лиття, штамповкою, механічною обробкою і т.д. [15, 16].

Поверхнєве легування підвищує зносостійкість виробів за рахунок зміни структури в поверхневому шарі [16].

В випадку використання легувальних покриттів, основною проблемою є проникнення рідкого металу в пори легувального покриття. Для вдалого розчинення елементів в легувальному покритті сплав, який в нього проникає має бути достатньої температури. На межі між основним металом та легованим шаром змінюється хімічний склад сплаву. Дифузія – основний процес що має значний вплив на результат отримання легованого шару. Швидкість з якою розчиниться легувальне покриття в значній мірі залежить від того наскільки стрімко рідкий метал по капілярами, які характеризуються розмірами часточок складових легувального покриття[17].

1.4 Висновки та постановка завдань для подальших досліджень

На підставі літературного аналізу можна зробити наступні висновки:

1. Одними з найбільш зносостійких матеріалів є сталь та чавун, при цьому леговані наступними елементами: хром, бор, нікель, молібден, титан і т.д.
2. Феросплави, чисті метали та лігатури або суміші на основі їх, використовують в якості наповнювачів для легувальних покриттів. високовуглецевий ферохром, феромарганець, феробор та феротитан використовують коли йде річ про зносостійке поверхнєве легування.
3. Підвищення зносостійкості литих деталей можна досягти поверхневим легуванням їх безпосередньо в ливарній формі.
4. Процеси поверхневого легування, впливу легувальних елементів на властивості поверхневого шару, рецептура покриттів для поверхневого легування сталевих виливків, технології нанесення легувальних покриттів на форми та

стрижень вивчені неповно. Усі вищенаведені аспекти потребують ретельного дослідження.

На підставі наведених висновків у роботі поставленні завдання:

1. Вивчити вплив різних складів і товщини легувальних покриттів на товщину легованого шару та його твердість.
2. Розробити такі параметри, що мають значний вплив на процеси поверхневого легування: фракція легувального покриття, склад легувального покриття, спосіб нанесення легувального покриття на поверхні форм та стрижнів, товщина легувального покриття.
3. Розробити технологію поверхневого легування відповідно до сучасних вимог до зносостійких виробів.

2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Вибір та підготовки вихідних матеріалів для поверхневого легування виливків у ливарній формі

Як відзначалось раніше, самими перспективними легувальними елементами, які значно підвищують зносостійкості сплавів на основі заліза є марганець і титан хром та бор.

Проблемою чистих металів є висока ціна та зазвичай висока температура плавлення. Тому для зменшення витрат на закупівлю необхідних матеріалів та уникнення проблем при виготовленні виливків для приготування легувальних покриттів були використані феросплави та механічні суміші на їх основі.

Зносостійкість сталей вивчали з урахуванням основних легувальних компонентів, тобто марганцю, молібдену, бору і титану.

Як незалежні компоненти обрані: фракцію ферометалу (X_1), вміст феротитану (X_2), вміст феромарганцю (X_3). Залежною змінною величиною є твердість, яку визначають за Брінеллем.

Локальну область визначення факторів встановили з літературного аналізу.

Оскільки в нашому експерименті кожний з факторів має тільки два рівня, то обираємо факторний експеримент типу 2^k .

Параметр, що досліджується: Твердість(y_n)

Відповідно до таблиці маємо:

Таблиця 2.1 – Матриця досліджень зносостійкості сталей

Фактор	Найменування	max	min	Інтервал варіювання
1	2	3	4	5
X_1	Фракція феросплаву, мм	0315	02	02...0315

Продовження до табл..2.1

1	2	3	4	5
X ₂	Вміст феротитану, %	40	10	10...40
X ₃	Вміст феромарганцю, %	90	60	60...90

Експеримент має два рівня та 2 фактори експерименту. Тому відповідно експериментів буде $2^3 = 8$.

Таблиця 2.2 – Вплив феромарганцю та феротитану на твердість зразків

Індекс позиції	ФМн78А	ФТи30А	Фракція(ФМн78А)	Фракція(ФТи30А)	НРА
1	90	10	0,315	0,315	65
2	90	10	0,2	0,2	57
3	80	20	0,315	0,315	64
4	80	20	0,2	0,2	56
5	70	30	0,315	0,315	62
6	70	30	0,2	0,2	55
7	60	40	0,315	0,315	61
8	60	40	0,2	0,2	51

Приготування матеріалів здійснювали шляхом їх дроблення, за допомогою ступки та кувалди, і подальшого просіювання через сита.

Після подрібнення феросплавів, у ступці одержані з них порошки прожарювали при температурі 200...250 °С. Наступним кроком було просіювання їх на фракції через сита № <02, № 02, № 0315, № 04, № 063, № 1,0. Сита відповідали вимогам ГОСТ 6613-86. Феросплав який залишався на ситі і становив

відповідну фракцію, тобто ферохром, що залишився на ситі № 02, є ферохромом фракції 0,2.

Подальшим кроком згідно плану суміші перемішувались між собою, особливою вимогою була необхідність перемішування тільки сумішей однакової фракції.

Щоб отримати максимально однорідний склад сумішей їх змішували в лабораторному млині.

На основі проаналізованої літератури для визначенні необхідного складу сумішей прийняли до уваги наступний факт, після розплавлення легованого шару рідким металом вміст легувальних елементів у ньому зменшується в 2...4 рази в порівнянні з вмістом легувальних елементів в легувальному покритті.

Наступні фракції феросплавів або, та сумішей на їх основі були використані в роботі: <02; 02; 0315; 04; 063; 1,0.

2.2 Вибір зразків для дослідження процесів поверхневого легування

Зразки висотою 85 мм, шириною 35 мм та висотою 40 мм обрані з метою дослідження процесів, що виникають при поверхневому легуванні. Блок зразків показано на рис. 2.1.

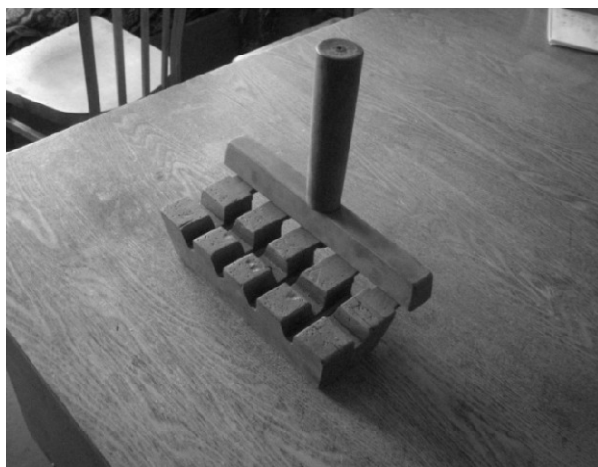


Рисунок 2.1– Блок зразків та їх ливникова система

Подальшим кроком було нанесення легувального покриття на стрижні. Стрижні були виготовленні із рідкоскляної суміші. Вміст рідко скляної суміші наведено в наступній таблиці.

Таблиця 2.3 Хімічний склад рідкоскляної суміші.

Компонент	Відсотковий вміст
пісок	90%
бентоніт	4%
рідке скло	6%

Геометрію стрижня та стрижневого ящика показано на рис. 2.2



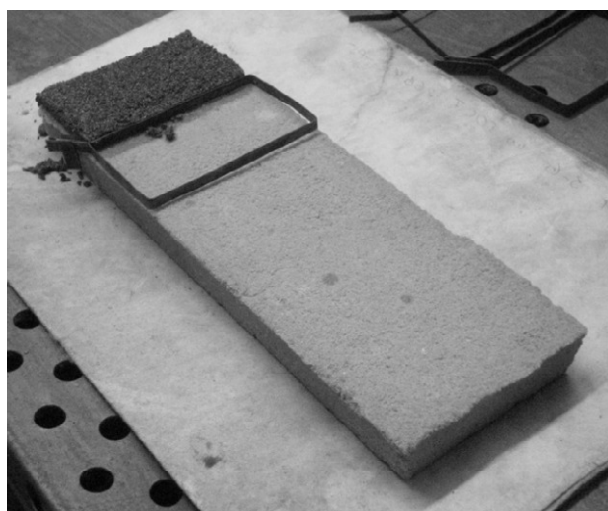
Рисунок 2.2 – Стрижневий ящик для виготовлення стрижня і виготовлений стрижень

Після створення стрижні 24 години сушилися на повітрі. Після просушення на повітрі – переносились в камерну піч на 2 години та прогрівалися за температури 240 °С.

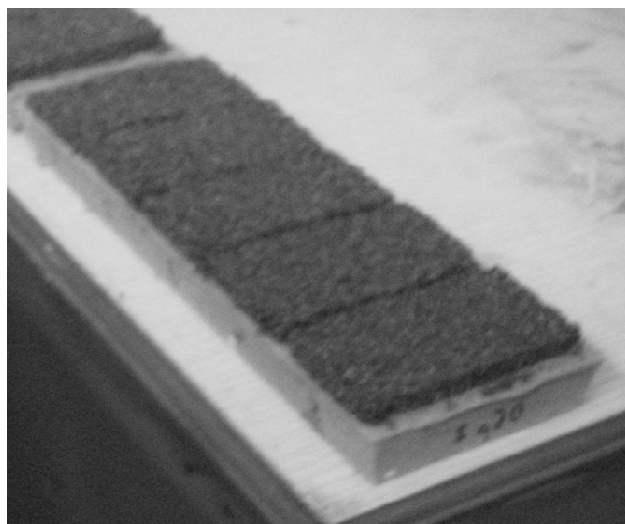
Після просушення в печі стрижні з неї витягались, та залишались на повітрі до повного охолодження. Після чого на них наносили легувальне покриття необхідної товщини. Один стрижень вміщує на собі до 5 покриттів. (рис 2.3).

Після нанесення покриття стрижні 24 години підсушувались на повітрі. Безпосередньо перед використанням їх прожарювали при температурі 300°С на протязі 2 годин.

Для уникнення небажаного пригару форма фарбувалась дистен силіманітовою фарбою. Перед заливанням металу виконували об'ємне сушіння форм за температури 200...250 °С, для зменшення утрат тепла, яке відбиртиме форма від рідкого металу. Безпосередньо перед заливанням металу здійснювали встановлення стрижнів з легуючим покриттям у форми.



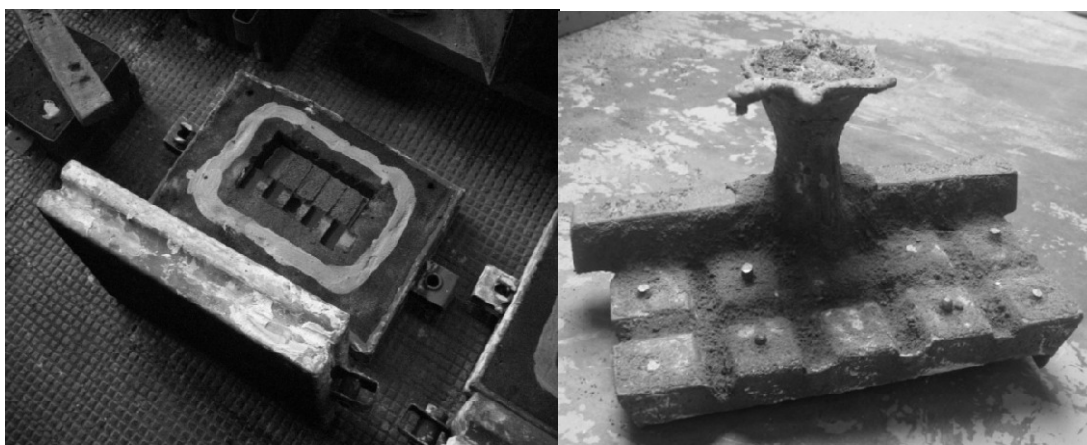
а



б

Рисунок 2.3 – Технологія виготовлення легувального покриття на стрижні (а) готовий стрижень (б)

Форму в складеному вигляді та блок виготовлених зразків показано на рис. 2.4.



а

б

Рисунок 2.4 – Форма для дослідження процесів поверхневого легування: а - перед заливанням металу; б - блок виготовлених зразків

Після охолодження форм розбивались, з відпрацьованої суміші діставались блоки зразків, суміш та залишки стрижнів очищались з виливків, візуально визначались процеси поверхневого легування, зразки від очищали від пригару, розрізали кутовою шліф машинкою на частини та здійснювали очищення від заусенців на обдирних верстатах.

Технологія використана для виготовлення зразків для поверхневого легування дозволяє дослідити в одній формі до п'яти легувальних покриттів.

2.3 Технологія нанесення легувальних покриттів на поверхні форм і стрижнів

Обмазки на стрижні наносили шпателем. Для отримання легувальних покриттів однакової геометрії використовували латунні рамки однакових розмірів.

Зв'язувальним компонентом для обмазок було рідке скло густиною $1,0 \text{ г/см}^3$. Відсотковий вміст рідкого скла у обмазці залежав від фракції компонентів .

Встановлено обернено пропорційну залежність: чим менше фракція компонента тим більше рідкого скла необхідно для обмазки.

З метою забезпечення від вимивання металом легувального покриття та для кращого закріплення на стрижень наносили рідке скло.

До заливання рідкого металу стрижні з нанесеним покриттям прогрівали до температури 150...200 °С та встановлювали в форму.

2.4 Шихтові матеріали та технологія виплавлення базового сплаву

Як основу використовували сталь 30Л [18] (ГОСТ977-88).

Як основний ливарний агрегат використовували піч ІСТ-0,06 з кислою футеровкою. Живлення індуктора печі здійснюється від машинного генератора частотою 2500 Гц. Сталь виплавляли методом переплаву. Переплавляли низьковуглецевий сталевий брухту та чавунний брухт.

Сталь перегрівали до температури $1590 \pm 10^\circ\text{C}$ перед випусканням з печі. Вольфрам-ренієва термопара з кварцовим наконечником визначала температуру безпосередньо в печі (після її вимкнення) та в ковші. Форми заливали при температурі сталі $1570 \pm 10^\circ\text{C}$.

2.5 Дослідження твердості зразків, товщини легувального шару та структури металу основи й легованого шару

Визначення твердості легованого шару та основи металу на зразках виконували на твердомірі ТК-3 [19] згідно ГОСТ 9450-76.

На мікроскопі МІМ-8, після травлення шліфів трьох відсотковим розчином азотної кислоти, визначали: товщину легованого шару, структуру легованого шару, структуру металу основи.

2.6 Висновки до другого розділу

1. Вибрані феросплави, та механічні суміші на їх основі для приготування ливарного покриття.
2. Технологія приготування легувального покриття та нанесення його на поверхню стрижня повністю відпрацьована.
3. Обрано форму зразків.
4. Розроблено технологію виготовлення зразків.
5. Опрацьована методика визначення неметалевих включень.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ПОВЕРХНЕВОГО ЛЕГУВАННЯ

Проаналізувавши літературу яка стосується процесів, що відбуваються під час поверхневого легування дійшли до висновку, що для одержання сталевих виливків недоцільно використовувати чисті метали, більш правильним вибором є використання феросплавів. В дослідженнях використовували окремі феросплави та їх механічні суміші, які подрібнюються задовільно із . фракціями < 02; 02; 0315; 04; 063; 1,0.

3.1. Дослідження процесів поверхневого легування з використанням окремих феросплавів

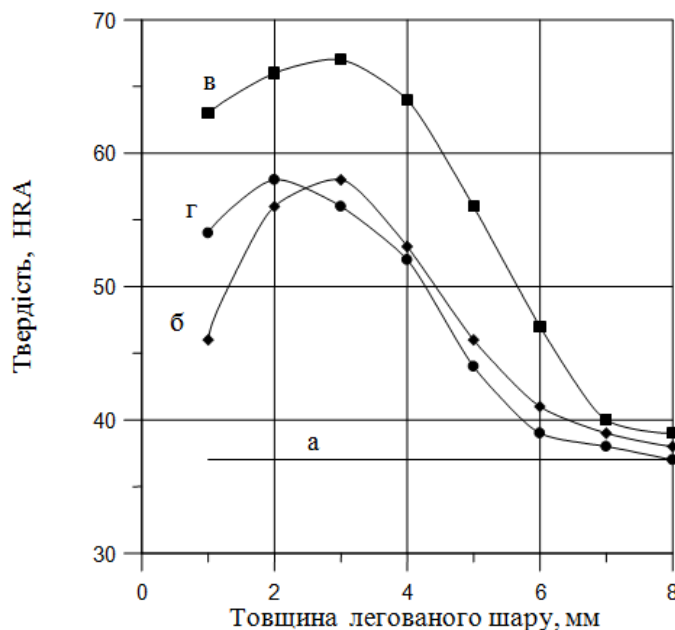
Експерименти, що були проведені з способом поверхневого легування були здійснені за допомогою феросплавів , до хімічного складу яких входили карбідоутворюючі хімічні елементи.

В експериментах як один з використаних феросплавів використовували феромарганець, оскільки метою експерименту було підвищення зносостійкості. А марганець значно підвищує зносостійкість сталевих виливків. Тому було проведено дослід, з метою встановити вплив феромарганцю на товщину легованого шару, та твердість в залежності від фракції феромарганцю(рис.3.1).

Одні з кращих результатів були отримані при дослідженні феромарганцю ФМн78А з високим вмістом вуглецю, в порівнянні з іншим марками феромарганцю, тому практичний інтерес представляє зміна твердості легованого шару по його товщині. При подрібненні феросплавів ручним способом у ступці найбільша кількість порошку утворюється з розмірами 0,2; 0,315 і 0,4 мм.

Максимальних показників твердості вдалося досягти при використанні ФМн78А фракції 0315, вони становили 67 HRA, при використанні легованого шару товщиною три міліметри. Твердість основи при цьому сягала 37...38 HRA.

Тобто твердість ФМн78А фракції 0315 на 81 % вище за твердість основного шару. Твердість ФМн78А фракції 02 становила 57...58 HRA, при використанні легованого шару товщиною три міліметри. А твердість ФМн78А фракції 04 становила два міліметри 57...58 HRA при використанні легованого шару товщиною два міліметри .



а – твердість основи; б – фракція 02; в – фракція 0315; г – фракція 04

Рисунок 3.1 – Твердість легованого шару при використанні марганцю (ФМн78А)

Такий вплив марганцю на зміну твердості в залежності від фракції феромарганцю можна, очевидно, пояснити наступним: при використанні фракції 0315 одночасно здійснюються процеси розплавлення легувального покриття та проникнення рідкого металу в капіляри легувального покриття з наступним утворенням і карбідів марганцю і твердого розчину, що сприяє суттєвому підвищенню твердості легованого шару.

При використанні фракції 02 здійснюється розплавлення легувального покриття, починаючи з його поверхні (просочування покриття рідким металом мінімальне).

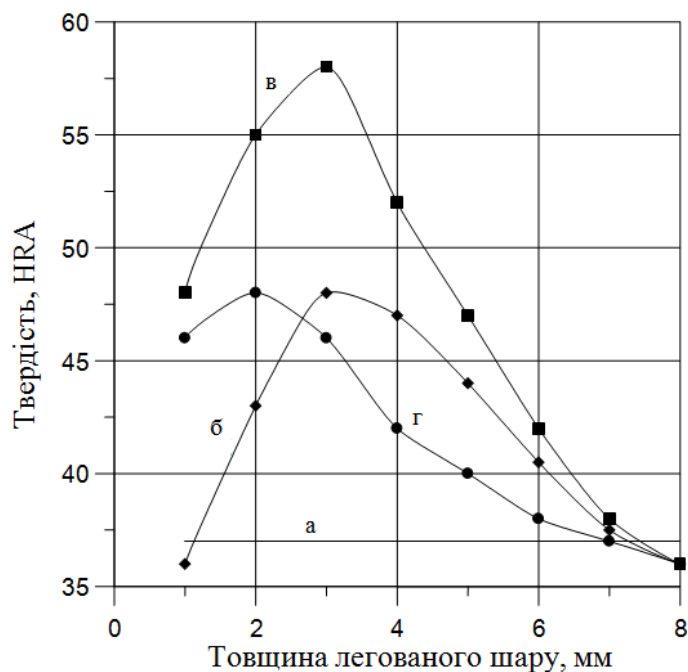
При використанні фракції 04 на перше місце виходять процеси просочування легувального покриття рідким металом і твердість легованого шару посідає проміжне значення (див. рис. 3.1).

З метою отримання максимальних результатів твердості необхідно використовувати ФМн78А товщиною легованого шару в три міліметри , а фракцією 0315.

Титан. Для продовження дослідження властивостей легованого шару, експеримент повторили з тою лише різницею, що як феросплав був вибраний не феромарганець, в феротитан, тих же фракцій та тих же товщини легованого шару, з кроком в 1 міліметр. Починаючи з товщини в 1 міліметр. Результати досліджень наведені на рис.3.2

Максимальних показників твердості вдалося досягти при використанні ФТи30А фракції 0315, вони становили 57 HRA, при використанні легованого шару товщиною три міліметри. Твердість основи при цьому сягала 36...37 HRA. Тобто твердість ФТи30А фракції 0315 на 54 % вище за твердість основного шару. Твердість ФТи30А фракції 02 становила 46...47 HRA, при використанні легованого шару товщиною три міліметри. А твердість ФТи30А фракції 04 становила два міліметри 47 HRA при використанні легованого шару товщиною два міліметри .

Подібні результати пояснюються наступним, при використанні феротитану фракції 02 утворюється легований ферит, з цим пов'язана вища твердість поверхні в порівнянні з основою. Зі збільшенням товщини легованого шару кількість карбонітридів в ньому зростає, а разом з ними і зростає і його твердість. Теж саме відбувається і з ФТи30А фракції 0315.



а – твердість основи; б – фракція 02; в – фракція 0315; г – фракція 04

Рисунок 3.2 – Твердість легованого шару при використанні титану (ФТи30А)

З метою отримання максимальних результатів твердості необхідно використовувати ФТи30А товщиною легованого шару в три міліметри і фракцією 0315.

3.2 Дослідження процесів зносостійкого поверхневого легування механічними сумішами

Процеси, що виникають при зносостійкому поверхневому легуванні досліджували з наступними механічними сумішами (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Суміші для приготування покриттів (план експерименту)

Інд. поз.	Рівень вмісту елементів, %				Інд. поз.	Рівень вмісту елементів, %			
	ФМн78А	ФТi30А	ФБ10	ФМо60		ФМн78А	ФТi30А	ФБ10	ФМо60
1	94,5	2	1,5	2	9	94,5	2	0,5	3
2	93	2,5	1	2,5	10	93	1	2,5	2
3	96	1,5	2	1,5	11	97,5	2,5	1,5	1
4	91,5	2,5	2,5	3	12	91,5	1,5	1	2,5
5	96	1	1	1,5	13	96	3	2,5	1
6	93	1,5	2	1	14	94,5	2	0,5	2
7	97,5	3	0,5	2,5	15	97,5	1	1,5	3
8	91,5	3	2	1,5	16	91,5	2	1,5	1,5

Дослідження з метою встановлення впливу товщини легувального покриття на товщину легованого шару показано на рис. 3.3.

В цих дослідах використовували дрібно дисперсійний (фракція 04) високовуглецевий феромарганець ФМн78А.

Дослідження показало, що з товщиною легувального покриття у сім міліметрів можна досягти товщини легованого шару в дванадцять міліметрів. При цьому наповнювачем слугував ФМн78А. Такі результати означають низьку температуру плавлення самого легованого покриття, що як результат дозволяє рідкому металу повністю його розплавити.

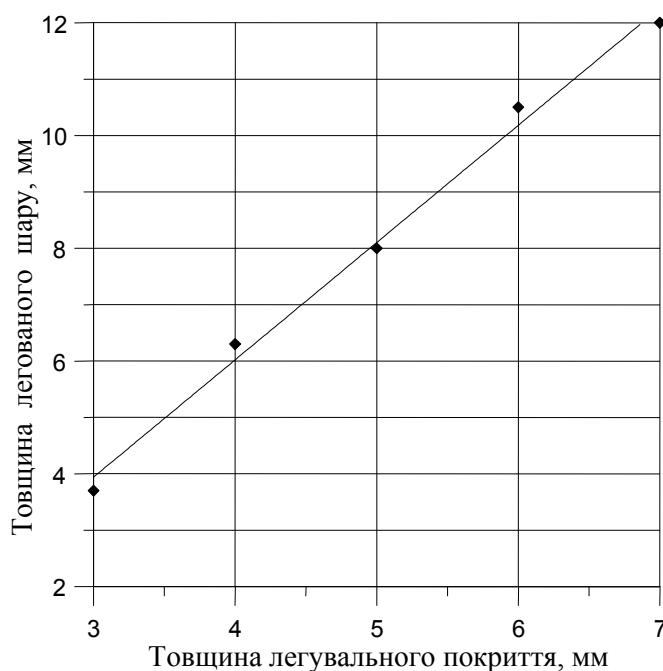


Рисунок 3.3 – Вплив товщини легувального покриття на товщину легованого шару – ФМн78А (фракція 04)

Високий інтерес проявляється в до дослідження того, як різні фракції впливають на товщину легованого шару. В данному досліді усі використані фракції наносились товщиною в три міліметри. Результати дослідів приведені на рис. 3.4. Як наповнювач використовувався феромарганець ФМн78А.

Зі збільшенням фракції легувального шару, товщина легованого покриття знижується. Тобто ми маємо обернену залежність. Візуально з підвищенням фракції кількість легованого покриття, яке не було розплавлене рідким металом та залишилось на поверхні зростає. Данні результати пояснюються недостатньою кількістю тепла рідкого металу, якого недостатньо для розплавлення таких великих фракцій як 063 та 1. Для уникнення цього небажаного явища необхідно підвищити швидкість заповнення форми рідким металом, підвищити температуру самого металу, прогрівати самі форми, перед заливанням, для зменшення кількості тепла яке забере форма на себе, замість того щоб використати його для розплавлення легованого покриття.

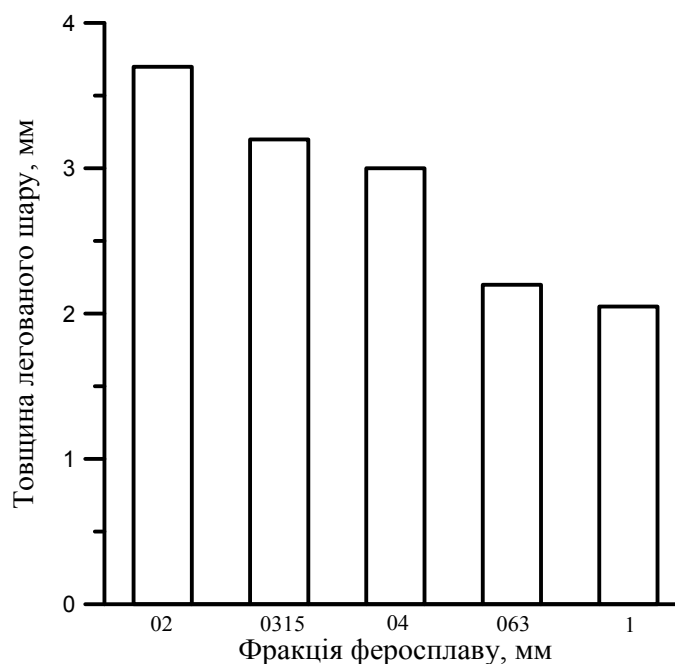
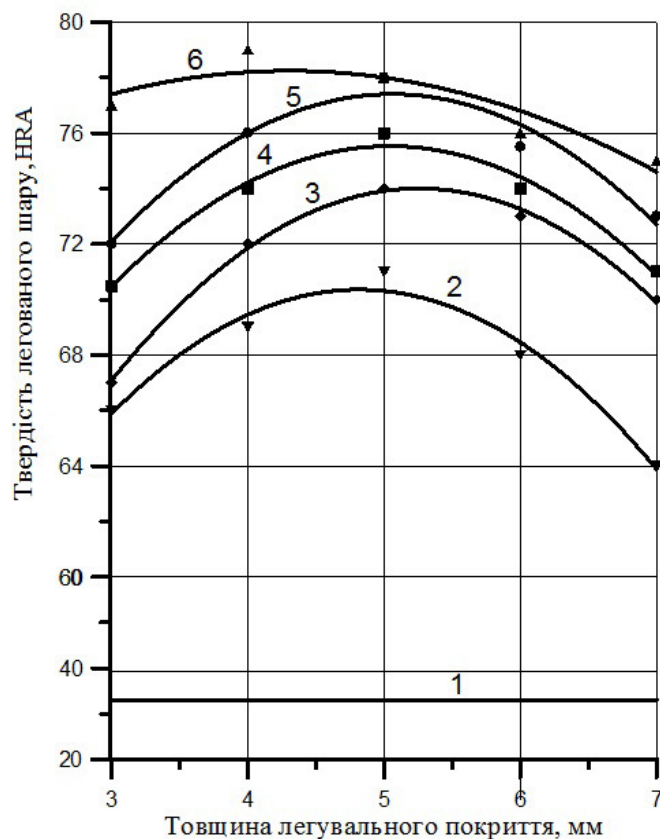


Рисунок 3.4 – Зміна товщини легованого шару в залежності від фракції легувального покриття ФМн78А

Вміст компонентів у сумішах та її розрахунковий хімічний склад наведені в табл.3.1, вплив товщини легувального покриття на твердість легованого шару на їх основі – на рис. 3.5. В усіх дослідях використовували покриття 7 мм.

Як видно із табл.3.1, механічні суміші відрізняються одна від другої вмістом марганцю, титану, бором і молібденом. Така різюча різниця в результатах пояснюється різницею хімічному складі і як результат в температурі плавлення покриттів, найбільшою температура плавлення буде в покритті номер 1, найнижчою в легувальному покритті номер 5. Тому найкращі показники за покриттям номер 5.



1 – твердість основи; 2 – покриття №1; 3 – покриття №2; 4 – покриття №3; 5 – покриття №4; 6 – покриття №5

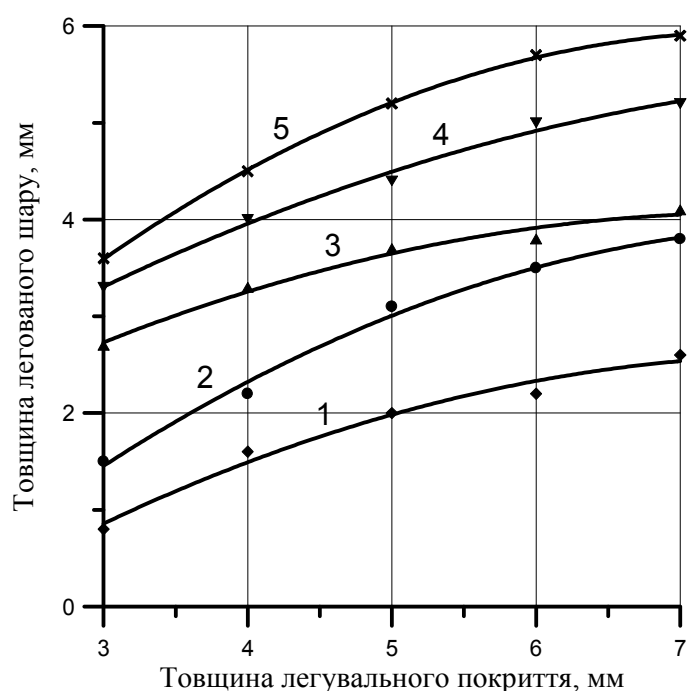
Рисунок 3.5 – Вплив товщини легувального покриття на твердість легованого шару

Отримані результати, дають підставу для використання всіх легованих покриттів. Точний вибір одного з них залежить від наявності необхідної кількості фракції певного феросплаву на підприємстві та бажаної товщини зносостійкого легованого шару на готовій деталі.

З результатів які можна спостерігати на рис. 3.6, гарними є результати усіх фракцій, а найкращим результатом – фракції 5 при використанні дрібно дисперсійних порошків ($< 02; 0,2$). Очевидно в цих випадках превалює розплавлення та розчинення компонентів легувального покриття за рахунок теплоти розплавленого металу. Гарні результати є і в фракцій 0315 та 04. Це

пояснюється по перше просочуванням рідкого металу в пори легувального покриття а в подальшому розчиненням та розплавленням компонентів легувального покриття. Товщина легованого шару залежить від глибини просочення рідкого металу у пори легувального покриття. Причиною цього є те, що легувальне покриття є потужним “холодильником” для подолання якого необхідно висока температура та рідко текучість металу. Вибираючи склад сумішей та їх фракцій необхідно, перш за все, керуватися цими особливостями.

Також дослідили вплив фракції 0315 на товщину легувального покриття. Цю фракцію вибрано через одночасні процеси розчинення та розплавлення компонентів легувального покриття після просочування його рідким металом і дифузії (рис. 3.6).



1 – фракція 063; 2 – фракція 04; 3 – фракція 0315; 4 – фракція 02; 5 – фракція < 02

Рисунок 3.6 – Вплив товщини легувального покриття на товщину легованого шару (покриття №5)

Результати дослідів пояснюються утворенням максимальної кількості твердих розчинів і карбідів. Тобто під час експерименту відбулось невелике

легуванням металу основи хромом, титаном і марганцем при цьому товщина легувального покриття була до 5 мм.

3.3 Дослідження структури та визначення індексу забрудненості легованого шару

Неметалеві вкраплини є основною плавковою характеристикою, яка визначає всі механічні властивості сплавів. Це повною мірою відноситься і до легованого шару.

Визначений індекс забрудненості таких зразків:

- ФМн78А, фракція 0315, товщина легувального покриття – 3 мм;
- ФТи30, фракція 0315, товщина покриття – 3 мм;
- механічна суміш №5, фракція 0315, товщина покриття – 5 мм.

Результати досліджень показано на рис. 3.7, а мікроструктури зразків – на рис.3.8.

Аналіз одержаних результатів показує, що процеси поверхневого легування не супроводжуються суттєвою зміною в негативний бік забрудненості металу неметалевими вкраплинами. В переважній кількості випадків індекс забрудненості легованого шару неметалевими вкраплинами значно нижчий, ніж індекс забрудненості металу основи. Це є основним висновком цих досліджень.

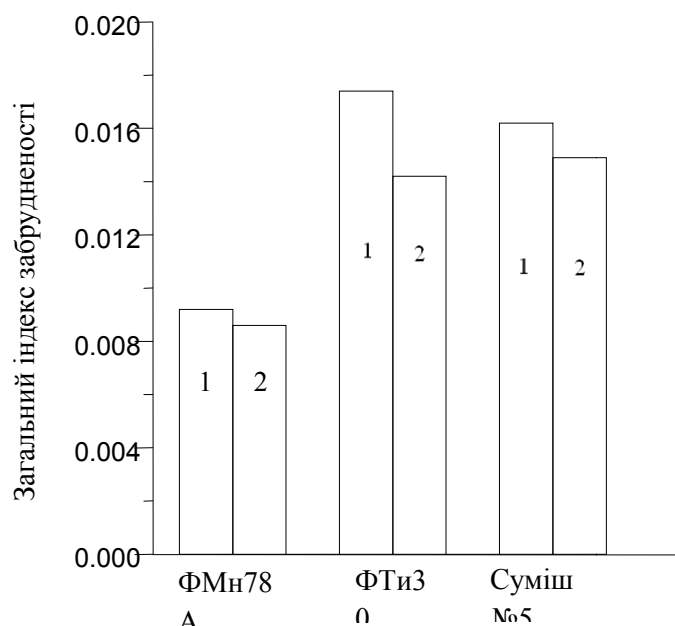
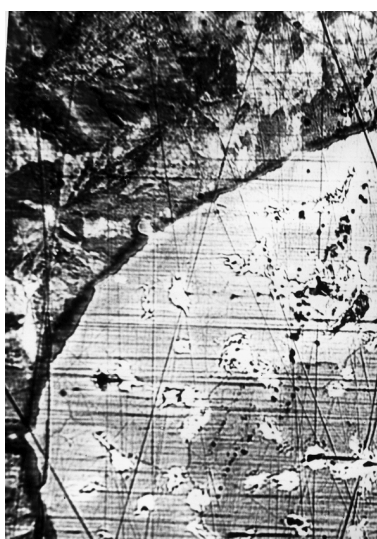


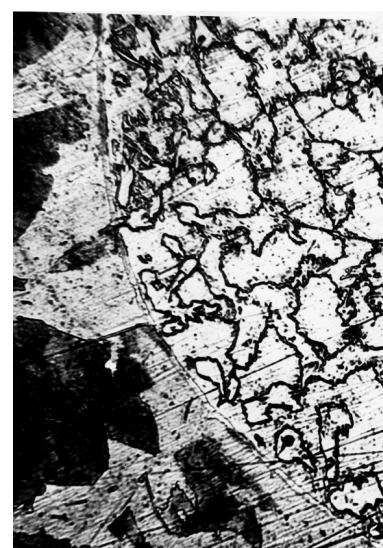
Рисунок 3.7 – Вплив ФМн78А, ФТи30, механічної суміші №5 на забрудненість немателевими вкраплинами основного металу (1) та легованого шару (2) (фракція 0315)



а



б



в

Рисунок 3.8 – Мікроструктури досліджених зразків: а – (ФМн78А); б – (ФТи30); в – (Суміш №5);

3.4 Висновки до третього розділу

1. Вивчено процеси , що відбуваються під час поверхневого легування литих деталей.
2. Установлено, що для підвищення зносостійкості поверхні необхідно використовувати феротитану, феромарганець, та суміші на їх основі.
3. Установлено, що індекс забрудненості легованого шару практично не відрізняється від індексу забрудненості основи металу, а в переважній більшості випадків – нижчий.

4 ОРГАНІЗАЦІЙНО – ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Науково-технічна актуальність теми дослідження

Актуальність роботи полягає в тому, що існує величезна кількість машин і механізмів, які працюють в складних умовах експлуатації.

Одним із напрямків розвитку машинобудування на сучасному етапі є збільшення довговічності служіння машин і механізмів, особливо в складних умовах експлуатації.

Підвищення довговічності і експлуатаційної надійності деталей може досягатися керуванням процесу структуроутворення поверхневого шару, оскільки зношення та пошкодження литих деталей починається, переважно, з поверхні.

Існуючі методи, спрямовані на підвищення стійкості зношуваних поверхонь деталей, не завжди дозволяють вирішити цю проблему економічно і технологічно шляхом використання таких технологій для виготовлення широкого кола машинобудівних деталей, які працюють в умовах високих зносу або температур. Литі деталі устаткування, яке використовується в теплоенергетиці, гірничодобувній промисловості, металургії та інших галузях, виготовляються із спеціальних сплавів, що вмістять в своєму складі значну кількість таких дорогих і дефіцитних елементів як хром, нікель, вольфрам, молібден, титан, мідь, марганець та ін.

Більшість деталей виготовляють з використанням із литих заготовок, тобто виливків, довговічність яких в значній мірі визначає надійність машини і її продуктивність. Для високої поверхневої міцності і зносостійкості литих деталей в машинобудуванні використовують різні види термохімічного оброблення, електрохімічні покриття і спеціальні наплавки.

Умови експлуатації таких деталей показують, що технологія їх виготовлення з використанням об'ємного легування сплавів не завжди себе виправдовує, а інколи шкідлива, оскільки лише невелика товщина деталей зношується, окислюється або пошкоджується. В таких випадках достатньо було б

забезпечити високі експлуатаційні характеристики тільки робочих поверхонь литої деталі. Для досягнення цієї мети перспективними можуть бути способи виробництва виливків із нелегованих сплавів на основі заліза з поверхневим композиційним або легованим шаром, який під час утворюється під час формування заготовки в ливарній формі.

Одним із таких способів підвищення зносостійкості литих деталей є поверхневе легування виливків або окремих їх частин безпосередньо в ливарній формі. Процес легування здійснюють шляхом нанесення на поверхні ливарних форм паст, фарб, облицьовувальних сумішей або вставок, наповнювачами яких є легувальні компоненти. Під час взаємодії з металом, що заливається у форму, вони утворюють легований поверхневий шар із спеціальними властивостями.

4.2 Мета і завдання магістерської дисертації

Метою роботи є визначення параметрів процесів поверхневого легування і інших методів виготовлення литих заготовок з заданими властивостями поверхні.

В дисертації поставлені наступні завдання:

1. Вибрати технологію поверхневого легування і удосконалити її відповідно до сучасних уявлень про ці процеси.
2. Вивчити вплив різних складів і товщини легувальних покриттів на товщину легovanого шару, і його твердість.
3. Визначити оптимальні параметри процесів поверхневого легування: склад, фракцію, товщину покриття, спосіб його нанесення на поверхні форм і стрижнів.

4.3 Розрахунок планової собівартості проведення дослідження

Робота виконувалася на кафедрі ливарного виробництва КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Планова кошторисна вартість (собівартість) дисертації розраховувалась по наступних статтях витрат:

- заробітна плата науково - дослідницького персоналу;
- єдиний соціальний внесок;
- вартість матеріалів, необхідних для виконання дисертації;
- вартість спеціального обладнання для проведення експерименту;
- інші прямі невраховані витрати;
- накладні витрати.

4.3.1 Визначення заробітної плати науково-дослідницького персоналу

Розрахунок заробітної плати науково-дослідницького персоналу базується на визначенні трудомісткості робіт окремих виконавців та їхньої денної заробітної плати (враховуючи кількість виконавців, їхню кваліфікацію і завантаженість роботою на різних етапах магістерської дисертації) [20].

У виконанні дослідів приймали участь чотири виконавці: зав. кафедри, кандидат технічних наук; асистент викладача, без наукового ступеню; інженер-дослідник (магістр) та навчальний майстер. Для кафедри ливарного виробництва чорних та кольорових металів технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» місячні посадові оклади заробітної плати складають:

- зав. кафедри, кандидат технічних наук – 13568 грн.;
- асистент викладача, без наукового ступеню – 9832 грн.;
- інженер-дослідник (магістр) – 0 грн.;
- навчальний майстер – 4906 грн.

Денна заробітна плата кожного з виконавців визначається як місячна заробітна плата, поділена на середню кількість днів у місяці, що при п'ятиденному робочому тижні становить 21,2. Таким чином, величина денної заробітної плати виконавців складає для:

- зав. кафедри, кандидат технічних наук – 640 грн.;

- асистент викладача, без наукового ступеню – 463,8 грн.;
- інженер-дослідник (магістр) – 0 грн.;
- навчальний майстер – 231,4 грн.

У випадку відсутності відповідних розрахункових методик трудомісткості різних етапів виконання магістерської дисертації встановлюється на базі експертних оцінок, які дають провідні фахівці. При цьому магістерської дисертація розглядається як сукупність макроетапів, аналіз кожної окремої операції не проводиться. Результати експертної оцінки трудомісткості етапів магістерської дисертації наведені в таблиці 4.1.

Величина заробітної плати виконавців (ЗП) обчислюється як сума добутоків трудомісткості і денної заробітної плати кожного з них:

$$\text{ЗП} = 22 \cdot 640 + 30 \cdot 463,8 + 92 \cdot 0 + 8 \cdot 231,4 = 29845,2 \text{ грн.}$$

Таблиця 4.1 - Трудомісткість макроетапів виконання МД

Макроетапи роботи	Трудомісткість, люд.-дні			
	зав. кафедри, к.т.н	асистент викладача, без н.с.	інженер - дослідник (магістр)	навчальний майстер
1	2	3	4	5
1. Аналіз фахових публікацій за теми	6	10	20	-
2. Обґрунтування мети напрямів	8	8	11	-
3. Розробка мети напрямів	4	7	8	8
4. Дослідження властивостей	-	-	45	-
5. Обговорення результатів МД	4	5	8	-
Разом за виконавцями теми	22	30	92	8

4.3.2 Визначення розміру єдиного соціального внеску

Згідно з діючим законодавством єдиний соціальний внесок становить 22,0% від загального розміру заробітної платні.

$$B_C = 0,22 \cdot 29845,2 = 6565,94 \text{ грн.}$$

4.3.3 Визначення вартості матеріалів для проведення досліджень

Для виготовлення експериментальних зразків були необхідні наступні матеріали: сталевий брухт, ферохром, феромарганець, феромолібден, феросиліцій, феротитан, феробор, алюміній, мідь. Дані про вартість перелічених матеріалів наведені в табл. 4.2.

Таблиця 4.2-Вартість основних матеріалів

Найменування матеріалу	Одиниця виміру	Кількість, кг	Ринкова ціна за одиницю, грн. за 1 т	Сума,грн.
1.Сталевий брухт	кг	60	1500	90
2.Ферохром	кг	1	79000	79
3.Феромарганець	кг	1	42000	42
4.Феромолібден	кг	1	330000	330
5.Феросиліцій	кг	1	44000	44
6.Феротитан	кг	1	37000	37
7.Феробор	кг	1	65000	65
8.Алюміній	кг	1	48100	48,1
9.Мідь	кг	1	278770	278,7
Загальні витрати на матеріали				1012,8

Транспортно-заготівельні витрати приймаємо у розмірі 10% від вартості матеріалів, тоді загальна вартість використаних матеріалів (C_M) складає:

$$C_M = 1012,8 \cdot 1,1 = 1114,08 \text{ грн}$$

4.3.4 Визначення вартості спеціального обладнання і приладів

При виконанні магістерської дисертації усі роботи проводилися з використанням лише наявного обладнання на кафедрі ливарного виробництва КПІ ім. Ігоря Сікорського.

4.3.5 Визначення вартості робіт і послуг сторонніх організацій

У виконанні даної магістерської дисертації сторонні організації участі не приймали.

4.3.6 Визначення витрат на службові відрядження

Усі роботи, пов'язані з виконанням магістерської дисертації за даною темою, проведені на кафедрі ливарного виробництва КПІ ім. Ігоря Сікорського. Окремі службові відрядження не планувались.

4.3.7 Визначення інших прямих неврахованих витрат

Інші прямі невраховані витрати ($C_{\text{інш}}$) плануються у розмірі 10% від врахованих.

$$C_{\text{інш}} = 0,1 \cdot (29845,2 + 6565,94 + 1114,08) = 3752,52 \text{ грн.}$$

4.3.8 Визначення накладних витрат

До накладних витрат (H_B) відносяться витрати на заробітну плату адміністративно-управлінського, господарчого та допоміжного персоналу (разом з єдиним соціальним внеском), витрати на допоміжні виробництва, видатки на охорону праці, техніку безпеки та екологію, фінансування підготовки кадрів, воєнізованої охорони і деякі інші.

Норматив відрахувань на накладні витрати на кафедрі ливарного виробництва КПІ ім. Ігоря Сікорського встановлений в розмірі 20% планової суми прямих витрат по темі магістерської дисертації. Розраховуємо величину накладних витрат наступним чином:

$$H_B = 0,2 \cdot (29845,2 + 6565,94 + 1114,08 + 3752,52) = 8255,55 \text{ грн.}$$

4.3.9 Визначення планової кошторисної вартості магістерської дисертації

Планова кошторисна вартість магістерської дисертації визначається як сума витрат за окремими статтями вартості. Результати визначення вартості наведені у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Калькуляція планової кошторисної вартості магістерської дисертації за темою

Найменування калькуляційних статей	Позначення	Сума	
		грн.	%
1	2	3	4
1. Загальна заробітна плата	ЗП	29845,2	60,25
2. Єдиний соціальний внесок	В _С	6565,94	13,25
3. Матеріали, необхідні для виконання дослідів	С _м	1114,08	2,25

Продовження табл.4.3

1	2	3	4
4. Спеціальне обладнання для наукових робіт	$C_{об}$	—	—
5. Робота і послуги сторонніх організацій	$C_{стор}$	—	—
6. Витрати на службові відрядження	$C_{від}$	—	—
7. Інші прямі невраховані витрати	$C_{інш}$	3752,52	7,58
8. Накладні витрати	H_B	8255,55	16,67
Всього		49533,29	100

Згідно з таблицею 4.3 загальна планова кошторисна вартість магістерської дисертації складає:

$$B_{мд} = 49533,29 \text{ грн.}$$

4.4 Визначення очікуваних результатів магістерської дисертації та розрахунок показників економічної ефективності

Дослідження, що проводяться в даній роботі, мають пошуковий та теоретичний характер. Відповідно з цим прямий розрахунок очікуваного річного економічного ефекту надзвичайно складний, оскільки відсутні повні дані відносно сфери використання результатів роботи, а також вихідні дані для розрахунку одночасних та поточних витрат. У такому випадку слід використовувати бальну систему оцінки економічної ефективності за наступними показниками:

- важливість розробки;
- можливість використання результатів;
- теоретичне значення та рівень новизни дослідження;
- складність отриманої розробки.

Частку сумарного річного економічного ефекту, що утвориться за кожною з перелічених шкал, позначають умовно відповідним номеру шкали коефіцієнтом (K_1 , K_2 , K_3 , K_4). Наведемо докладніше систему оцінки за кожною шкалою. Першою розглянемо шкалу важливості розробки.

Коефіцієнт K_1 може знаходитись в наступних межах:

- ініціативна робота, яка не входить до складу комплексної програми та не є завданням директивних органів – 1 бал;
- робота виконується за угодою про науково-технічне співробітництво – 3 бали;
- робота являє собою частину відомчої програми – 5 балів;
- робота являє собою частину комплексної міжвідомчої програми з елементами впровадження результатів – 7 балів;
- робота є частиною міжнародної комплексної програми – 8 балів.

Коефіцієнт K_2 може знаходитись в наступних межах:

- результати розробки можна використати тільки в даному підрозділі – 1 бал;
- результати розробки можуть бути використані тільки однією організацією – 3 бали;
- результати розробки можуть бути використані багатьма організаціями – 5 балів.
- результатами розробки можуть користуватися споживачі в межах однієї галузі – 8 балів;
- результатами розробки можуть користуватися споживачі в різних галузях – 10 балів.

Коефіцієнт K_3 може знаходитись в наступних межах:

- робота являє собою аналіз, узагальнення або класифікацію відомої інформації, подібні результати раніше були відомі в досліджуваній галузі – 2 бали;
- під час виконання роботи отримана нова інформація, яка доповнює уявлення про сутність досліджуваних процесів – 3 бали;

- внаслідок виконання роботи отримана нова інформація, яка частково змінює уявлення про природу досліджуваних процесів – 5 балів;
- внаслідок виконання магістерської дисертації створені нові теорії, методики або що-небудь подібне – 6 балів;
- отримана інформація формує принципово нові уявлення, які не були відомі раніше – 8 балів.

Коефіцієнт K_4 може знаходитись в наступних межах:

- роботу виконує один підрозділ, витрати до 10000 гривень – 1 бал;
- роботу виконує один підрозділ, витрати від 10000 до 50000 гривень – 3 бали;
- роботу виконує один підрозділ, витрати від 50000 до 100000 гривень – 5 балів;
- робота виконується багатьма підрозділами, витрати від 100000 до 200000 гривень – 7 балів;
- робота виконується багатьма організаціями, витрати більше 200000 гривень – 9 балів.

Бальна оцінка економічної ефективності даної магістерської дисертації наведена у табл. 4.4.

Таблиця 4.4 – Бальна оцінка ефективності дослідів

Показники оцінки ефективності	Умовне позначення	Характеристика даної розробки	Кількість балів
1	2	3	4
1. Важливість розробки	K_1	Робота являє собою частину відомчої програми	5
2. Можливість використання результатів розробки	K_2	Результати розробки можуть бути використані багатьма організаціями	5

Продовження до табл.4.4

1	2	3	4
3. Теоретична значимість та рівень новизни розробки	K_3	Отримана нова інформація, яка доповнює уявлення про сутність досліджуваних процесів	3
4.Складність дослідження	K_4	Роботу виконує один підрозділ, витрати до 50000 гривень	3

В нашому випадку бальна оцінка ефективності (Б) (згідно табл. 4.4) становить:

$$Б = 5 \cdot 5 \cdot 3 \cdot 3 = 225$$

Умовний річний економічний ефект магістерської дисертації ($E_{\text{ндр}}^y$) визначається :

$$E_{\text{мр}}^y = 500 \cdot Б - E_{\text{н}} \cdot V_{\text{мд}} \quad (4.1)$$

де 500 – умовна вартість одного балу, грн.;

$E_{\text{н}}$ – нормативний коефіцієнт економічної ефективності ($E_{\text{н}} = 0,15 \div 0,50$, для нашого розрахунку обираємо $E_{\text{н}} = 0,25$);

$V_{\text{ндр}}$ – витрати на виконання МД (планова річна кошторисна вартість виконання МД, для нашого розрахунку $V_{\text{мд}} = 49533,29$ грн.).

Таким чином, умовний економічний ефект відповідно (4.1) становить:

$$E_{\text{мд}}^y = 500 \cdot 225 - 0,25 \cdot 49533,29 = 100116,68 \text{ грн.}$$

Коефіцієнт економічної ефективності :

$$E_{\text{мд}} = E_{\text{мд}}^y / V_{\text{мд}} \quad (4.2)$$

$$E_{\text{мд}} = 100116,68 / 49533,29 = 2,02$$

Отримана розрахункова величина коефіцієнта економічної ефективності дослідів ($E_d = 2,02$) свідчить про доцільність виконання даної роботи.

4.5 Висновки до четвертого розділу

1. Розрахована планова собівартість проведення магістерської дисертації з урахуванням всіх видів витрачених ресурсів.
2. Обґрунтована актуальність та економічна доцільність проведення роботи.

5 БІЗНЕС-ПРОЕКТ

5.1 Команда

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Інженерно-фізичний факультет. Кафедра ливарного виробництва чорних і кольорових металів.

Лідер команди:

Ямшинський М.М. (к. т. н., доц.)

Генератор ідей:

Федоров Г.Є. (к. т. н., доц.)

Виконавці:

Завертайло М. В. (студент)

Скрипник А.І (студентка)

5.2 Назва проекту

“ Використання поверхневого легування для підвищення зносостійкості сталевих виливків ”

5.3 Короткий опис проекту

Розроблена технологія поверхневого легування на основі ферометалів для отримання зносостійких виливків.

Переваги для споживачів:

- економія дорогоцінних ферометалів в порівнянні з об'ємним легуванням
- підвищення зносостійких властивостей

5.4 Бізнес – модель

5.4.1 Коштовий продукт

Виготовлення деталей, як за номенклатурою (броня бетонозмішувача, фрези, сита грохотів, деталі ковша, ріжучі кромки, деталі грейфера), так і на замовлення.

5.4.2 Сегмент споживачів

Підприємства (гірничорудної, цементної, будівельної, машинобудівної галузей промисловості), які використовують зносостійкі деталі.

ЗЖБК ім. С. Ковальської

ПАТ “Ельтвори” (попередня назва – ПАТ “Червона зірка”)

ВАТ “Полтавський ГЗК”

ПАТ “АвтроКрАЗ”

5.4.3 Канали збуту

Використовуються прямі канали збуту. Безпосередній контакт з потенційними покупцями через візити на підприємство і презентація товару безпосередньо на підприємстві. Контакт через тематичні та галузеві виставки і конференції. Збут через Інтернет - ресурси (інтернет - магазин) [21].

5.4.4 Взаємодія із споживачами

Підтримка інформаційних ресурсів: сайт проекту, інтернет магазин, блог новин проекту, форум проекту. Використання банерної реклами в інтернеті, реклама на тематичних сайтах та сторінках. Наймання SMM, PR менеджера для просування проекту в інтернеті.

5.4.5 Прибуток (монетизація)

Отримання доходу з продажу готових виробів номенклатури та індивідуальних замовлень.

5.4.6 Ключові види діяльності

Виробництво виробів. Маркетингова діяльність. Наукова діяльність.

5.4.7 Ключові ресурси

Матеріальні – шихта, формувальна та стрижнева суміші, сталевий брухт, лігатури, феросплави. Технологія виробництва. Охоронні документи (патенти). Наукові та трудові кадри.

5.4.8 Ключові партнери

Підприємство, у якого арендуються виробничі площі. Партнери з надання логістичних послуг, маркетингових: iGroup, Нова Пошта, «Aurora Trans». Постачальники сировини та ливарного обладнання: АТ “Запоріжський завод феросплавів”, ООО “Українські ливарні рішення”, ООО “Эвролідер”.

5.4.9 Витрати

Витрати на оренду промислових потужностей. Витрати на сировину, логістику, маркетинг, підтримку сайту, зарплату робітникам.

5.5 Споживчі властивості товару

Вироби виготовлені за наявною технологією мають значно підвищений час експлуатації, і дозволяють споживачеві значно зекономити час та гроші на ремонті та заміні обладнання та деталей. Велика номенклатура виливків дозволяє значно розширити межі продажів та використання в різних галузях промисловості.

5.6 Дослідження ринку

По результатам аналізу ринку аналогічної продукції можна зробити висновок:

- основним компонентом для виготовлення подібних деталей є дефіцитний та дорогий нікель

5.7 Дослідження конкурентного оточення

Ймовірні конкуренти в Україні: “ЮТМК Київ”, ООО “Промліт”.

5.8 Маркетингова стратегія просування

Маркетингова стратегія просування стартапу складається з наступних пунктів:

- участь у виставках та конференціях
- просування проекту в інтернеті
- проведення презентацій для покупців
- зустріч безпосередньо на підприємствах потенційних покупців для проведення демонстрацій виробів
- поступове захоплення Українського ринку, з перспективою виходу на міжнародний
-

5.9 Елементи фінансового плану

5.9.1 Опис бізнес – проекту

Мета проекту – отримання прибутку шляхом продажу виробів, виготовлених за розробленою технологією, які потребують підвищених зносостійких характеристик.

Актуальність проекту – оскільки існує проблема швидкого зношення частин обладнання, яке працює в умовах тертя, то для її вирішення розробляють нові технології та матеріали, які підвищують тривалість експлуатації обладнання та деталей і скорочують кількість технологічних зупинок обладнання для ремонту та заміни деталей.

5.9.2 Опис товару/ послуги/ технології

Номенклатура виробів складає велику кількість деталей працюючих в умовах зносу, а також виробів виготовлених за індивідуальним замовленням.

5.9.3 Маркетинг та продаж

Цільовий сегмент – споживачі ринку зносостійких деталей. Підприємства гірничорудної, цементної, будівельної, машинобудівної галузей промисловості.

Маркетингова стратегія просування проекту на перших етапах включає в себе наступні пункти:

- участь у виставках та конференціях
- просування проекту в Інтернеті
- проведення презентацій для потенційних покупців

Для продажу товарів застосовують прямі канали збуту:

- безпосередній продаж потенційним покупцям
- збут через Інтернет - магазин

5.9.4 Фінансовий план

На поточному етапі існування проекту фінансовий план у необхідному обсязі не розраховувався. Однак, розраховано, що заплановані інвестиції для впровадження в межах одного підприємства-виробника становлять:

- оренда виробничих потужностей – 2500 \$
- відпрацювання технології в умовах виробництва – 1500 \$
- забезпечення ресурсами – 6500 \$
- витрати на логістику, маркетинг, заробітну плату – 3500 \$

5.9.5 Резюме

Проект призначений для вирішення проблеми швидкого зношення частин обладнання, яке працює в умовах інтенсивного зносу, шляхом підвищення експлуатаційних та економічних характеристик цих частин, виготовлених за розробленою технологією.

Заплановані інвестиції для впровадження у виробництво на одному підприємстві становлять 14000 \$.

5.10 Подальші кроки в проекті

5.10.1 Наукова діяльність

Збільшення номенклатури виробів. Дослідження та робота над підвищенням зносостійкості виробів. Впровадження нових феро металів до вже існуючих у проекті, експерименти над хімічним складом заради отримання оптимального хім. складу.

5.10.2 Організаційна діяльність

Розширення проекту: збільшення кількості працівників та наукових кадрів.
Залучення до співпраці нових підприємств для виробництва деталей.

5.10.3 Маркетингова діяльність

Подальша просування проекту за всіма напрямками. Найм маркетингових фірм для розкрутки бренду. Міжнародна маркетингова діяльність.

5.10.4 Комерційна діяльність

Презентації та продаж зразків на ринку України. Вихід на міжнародний ринок.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Найбільш зносостійкими матеріалами є сплави на основі заліза, леговані такими елементами як марганець, хром, титан, бор, молібден, нікель та інші.
2. Наповнювачами легувальних покриттів можуть бути використані чисті метали, феросплави, лігатури або механічні суміші на їх основі, для зносостійкого легування марганець, феромарганець різних марок, ферохром високо вуглецевий, феротитан феробор та ін.
3. Підвищення зносостійкості литих деталей можна досягти поверхневим легуванням їх безпосередньо в ливарній формі.
4. Процеси поверхневого легування, впливу легувальних елементів на властивості поверхневого шару, рецептура покриттів для поверхневого легування виливків, а також технології нанесення цих покриттів на поверхні форм і стрижні вивчені недостатньо і потребують глибокого дослідження.
5. Вибрані феросплави, та їх механічні суміші для приготування ливарного покриття.
6. Відпрацьована технологія приготування та нанесення на поверхню стрижня легувального покриття.
7. Вибрана форма зразків та розроблена технологія їх виготовлення.
8. Опрацьована методика визначення неметалевих вкраплин.
9. Вивчено процеси поверхневого легування литих деталей, які працюють в умовах інтенсивного зносу.
10. Установлено, що для зносостійкого поверхневого легування доцільно використовувати порошки високовуглецевого феромарганцю, феротитану їх суміші.
11. Установлено, що індекс забрудненості легованого шару неметалевими вкраплинами практично знаходиться на рівні з основою металу, а в багатьох випадках – значно менший.
12. Розрахована планова собівартість проведення магістерської дисертації з урахуванням всіх видів витрачених ресурсів.

13. Обґрунтована актуальність та економічна доцільність проведення роботи.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Власов В.М., Комолова Е.Ф. Литая марганцовистая сталь. – М.: Машгиз, 1963.-195с.
2. Бобро Ю.Г. Легированные чугуны.-М.: Металлургия, 1976.-288с.
3. Гарбер М.Е. Износостойкие белые чугуны. Свойства, структура технология эксплуатации. – М.: Машиностроение, 2010. – 280 с.
4. Чугун: Справ. изд. / Под ред. А. Д. Шермана и А. А. Жукова. М.: Металлургия, 1991. 576 с.
5. Сварка углеродистых сталей [Электронный ресурс] / – Режим доступа:
<http://tutmet.ru/svarka-uglerodistyh-stalej-ruchnaja-dugovaja.html>
6. Виробництво виливків із спеціальних сталей: Монографія / Макаревич О.П., Федоров Г.Є., Платонов Є.О. – К.: Видавництво НТУУ “КПІ”, 2005. – 717с.
7. Марка пружинної сталі [Электронный ресурс] / – Режим доступа:
<http://ismith.ru/metal/marki-pruzhinnoj-stali/>
8. Сталь марки 110Г13Л [Электронный ресурс] / – Режим доступа:
http://metallcheckiy-portal.ru/marki_metallov/sto/110G13L
9. Эмингер Э., Вебер К. Производство отливок из специальных сталей. М.: Машгиз, 1960. 160с.
10. Стальное литье: Монография / Г.Е.Федоров, М.М.Ямшинский, Е.А.Платонов, Р.В. Лютый. – К.: НТУУ «КПИ», ПАО «Випол», 2013. – 896 с. – Библиогр.: 160 назв. – Ил. ISBN 978-966-646-130-1
11. Ажажа В.М., Коган В.С., Шулаев В.М. К вопросу о терминологии вакуумных насосов, Вакуумная техника и технология. – 2000. – Т. 10, No 2. – С. 43 - 47.

12.Лакедемонский А.В. Биметаллические отливки. – М.: Машиностроение, 1964-220с.

13. Богачев И.Н. Лузин П.Г. Колеса Грифина. ОПТП-НКТП Свердловск – Москва, 1987.-120с.

14. Ковальчук О.Г., Ямшинський М.М., Федоров Г.Є. Поверхнєве легування сталевих виливків Литье. Metallurgiya 2016, 24...26.05.2016 г. Запорожье, С. 119...121

15. Самсонов Г.В., Серебрякова Т.И., Неронов В.А. Бориды. М., Атомиздат, 1975. 376 с.

15. Оболенцев Ф.Д. Физико–химия и технология композиционного литья. – Одесса: ОПИ, 1984.-97с.

16. Клычков В.В. Фурман Е.Д. Тересков Ю.И. Поверхностное упрочнение деталей машин работающих в условиях абразивного изнашивания. Пути упрочнения изделий.– М.:1979,-с.153...158

17. Ковальчук А. Г., Ямшинский М. М., Федоров Г. Е. Усовершенствование технологических процессов поверхностного легирования заготовок в литейной форме

18. Сталь для виливків нелегована [Електронний ресурс] / – Режим доступу:

http://www.splav-kharkov.com/mat_start.php?name_id=217

19. Метод Роквелла [Електронний ресурс] / – Режим доступу:

https://tochpribor-nw.ru/articles/metod_rokvella

20. Методичні рекомендації до розробки економічної частини дипломних проектів і робіт освітньо-кваліфікаційного рівня «спеціаліст» та «бакалавр» для студентів інженерно-фізичного факультету спеціальності 7.090102 «Фізичне матеріалознавство», 7.090103 «Композиційні та порошкові матеріали та покриття», 7.090104 «Металознавство», 7.090403 «Ливарне виробництво чорних і

кольорових металів» та 7.090405 «Спеціальна металургія» денної та заочно-дистанційної форм навчання / Уклад.: В. І. Кривда, С. В. Нараєвський, Н. О. Черненко. – К.: НТУУ «КПІ», 2011. – 52 с.

21. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.

22. ДСТУ 3008:2015 "Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлення"

серцевині, а більше 0,8 – чремерне збільшення перехідної зони. Затвердівша перехідна зона об'ємом 0,5...0,8 від загального об'єму рідкого металу гарантує зниження карбидоутворюючих компонентів в 2...6 раз (наприклад, до 0,25% Cr), а, відповідно, і меншу частку карбидів заліза в структурі. Це надає позитивний вплив на загальний рівень міцнісних характеристик робочих валків гарячої прокати листів.

Таким чином, запропонована в роботі конструкція прокатного валка забезпечує надійне зварювання робочого шару і серцевини і одночасно необхідний рівень властивостей шеек за рахунок запобігання виникненню твердих карбидів в їх структурі. Разом з тим, для значного збільшення надійності і терміну експлуатації листопрокатного валка необхідно було розробити чугун серцевини валків, що вимагало проведення додаткових досліджень.

Завертайло М.В., Ямшинський М.М.

(КІП ім. Ігоря Сікорського, м. Київ)

РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ВИГОТОВЛЕННЯ ВІЛИВКІВ ІЗ ДИФЕРЕНЦІЙОВАНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ ПОВЕРХНІ

zavertaylonikolay@gmail.com

Підвищення довговічності і експлуатаційної надійності деталей може досягатися керуванням процесом структуроутворення поверхневого шару, оскільки зношення та пошкодження литих деталей починається, переважно, з поверхні.

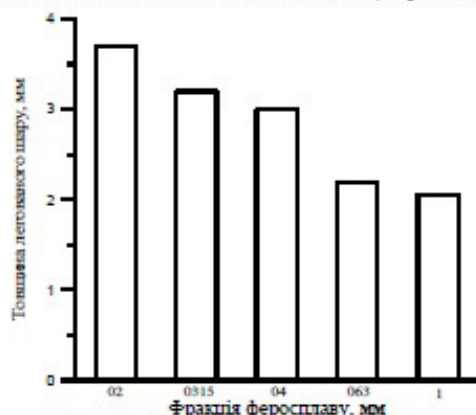


Рис. 1. Зміна товщини легованого шару в залежності від фракції легуючого покриття ФМn78А

для всіх компонентів, хоча найкращі результати одержано внаслідок використання високовуглецевого феромарганцю ФМn78А.

Дещо гірші результати одержано при використанні чистого марганцю Мn965 і найменша товщина легованого шару має місце при використанні низьковуглецевого феромарганцю ФМn1,5. Для всіх компонентів очевидне їх розплавлення під дією температури розплаву, проте тепловмісту рідкого металу не вистачає для повного розплавлення легуючого покриття на основі більш крупних фракцій. Про це свідчить і візуальний аналіз

Для цього підходить метод поверхневого легування. Метод полягає в нанесенні на необхідну поверхню легуючого шару, заливання металу в форму, розплавлення легуючого шару і отримання зносостійкого шару. Для отримання бажаних зносостійких властивостей використовують порошки високовуглецевого феромарганцю, феротитану, феробору, феромолібдену.

При нанесенні легуючого покриття важливо правильно підібрати його фракцію, для отримання достатньої товщини легованого шару (рис. 1).

Як видно із рис. 1, підвищення розмірів гранулометричного складу легуючого покриття призводить до зменшення товщини легованого шару

IX Міжнародна науково-технічна конференція. Нові матеріали і технології в машинобудуванні-2017

одержаних зразків після видалення їх із форми: із збільшенням фракції кількість легувального покриття, яке не розплавилось, зростає. Очевидно, для повного розплавлення покриття необхідно підвищувати температуру розплаву, збільшувати швидкість заповнення ливарної форми металом для збереження його тепловмісту або використовувати інші технологічні заходи.

Збільшення товщини легувального покриття сприяє росту товщини легованого шару. Проте внаслідок підвищення температури плавлення механічної суміші у порівнянні, наприклад, з феромарганцем ΦMn78A , товщина легованого шару майже вдвічі менша, ніж при використанні ΦMn78A . Одержані результати дають право зробити такий висновок: товщину легувального покриття і його гранулометричний склад вибирають залежно від необхідної товщини зносостійкого шару на реальних деталях, можливості перегрівання металу основи і підігрівання форм і стрижнів перед їх заливанням.

При дослідженні твердості поверхневого шару був використаний факторний експеримент типу 2^k .

За результатами роботи можна зробити наступні висновки:

1. Вивчено процеси поверхневого легування литих деталей, які працюють в умовах інтенсивного зносу.

2. В результаті проведених досліджень встановлено, що для зносостійкого поверхневого легування доцільно використовувати порошки високовуглецевого феромарганцю, феротитану, феробору, феромолібдену або їх суміші.

Затуловский А.С., Косинская А.В.
(ФТИМС НАН України, г. Київ)

ЛИТЫЕ АЛЮМОМАТРИЧНЫЕ КОМПОЗИТЫ, АРМИРОВАННЫЕ «IN-SITU» ЧАСТИЦАМИ

kompozit@ptima.kiev.ua

Отечественные и зарубежные исследования в настоящее время сконцентрированы в направлении синтеза композиционных материалов на основе алюминиевых сплавов. Это обусловлено расширением их практического применения в различных отраслях техники. Повышение требований к уровню и стабильности свойств металлоизделий не всегда удовлетворяется за счет традиционных способов их получения и обработки. Поэтому возникает необходимость поиска новых методов, обеспечивающих оптимальный комплекс физико-механических свойств материалов для разнообразных условий эксплуатации. Одним из прогрессивных вариантов изготовления композитов на алюминиевой основе является метод жидкофазного реакционного синтеза. В его основе – формирование «in situ» армирующих элементов, возникающих в результате реакции между матричным сплавом и вводимой в него реакционно-активной добавкой. Такая армирующая фаза обладает высокой термодинамической стабильностью и хорошей адгезией к матрице.

Эффективными добавками в алюминиевые сплавы являются переходные металлы четвертого и пятого периодов Периодической системы. По своему взаимодействию с алюминием их рассматривают как элементы-модификаторы [1]. Они образуют тугоплавкие интерметаллиды, выделяющиеся первично, которые играют роль зародышей центров кристаллизации алюминия. Бинарные сплавы на основе алюминия с переходными металлами, цирконием и марганцем, были выбраны в качестве объектов настоящих исследований. Рассмотрены составы в области перитектического и заперитектического превращения диаграмм состояния Al-Zr и Al-Mn .

Шихтовыми материалами для получения сплавов служили алюминий технической чистоты (А6), алюмоцирконовая и алюмомарганцевая лигатуры. Выплавку осуществляли в печи электросопротивления в графитовых тиглях при температуре 860°C . После рас-

X Міжнародна науково-технічна конференція. Нові матеріали і технології в машинобудуванні-2018

восстановительный период, а при внепечной обработке эти процессы проводятся отдельно.

Известно [1], что по методу воздействия процесс рафинирования классифицируют на: химические, физические и электрохимические (электролитическое рафинирование).

К химическим методам рафинирования относят: окисление, хлорирование и сульфидирование. Все эти методы основываются на различиях в сродстве к кислороду, сере и хлору. К химическим методам рафинирования относится химическое осаждение – метод очистки расплава растворами серной, азотной и других кислот. При рафинировании стали химическими методами основными недостатками являются дополнительное загрязнение расплава вредными примесями при вводе в него различных окислителей, восстановителей и увеличение продолжительности плавки.

К физическим методам рафинирования относятся: дистилляция, дразнение и ликвация. Они основаны на различиях физических свойств разделяемых компонентов. Ликвационное рафинирование основано на разностях температур плавления и плотностей разделяемых элементов. Процесс дразнения заключается в продувке расплава газами, не реагирующими с расплавом. Дистилляция, или ректификация, основывается на разности температур кипения компонентов. Обработка стали физическими методами, например продувкой инертным газом аргонном, также имеет свои недостатки, к ним относятся: увеличение разрушения футеровки ковша и понижение температуры расплава перед выпуском.

Таким образом, рафинирование стали от вредных примесей является важнейшим технологическим процессом, от которого зависят качество и свойства получаемой стали. Существуют различные способы рафинирования, которые имеют как свои достоинства, так и недостатки. Их выбор зависит от технологии производства и требуемого качества готовой продукции. Рафинирование стали как технологический процесс подробно изучен в специальной литературе, но работы по его улучшению продолжаются.

Литература:

1. Металлургия и материаловедение / Циммерман Р., Гюнтер К.; Пер. с нем. Б.И. Левина и Г.М. Ашмарина. – Справ. изд. – Москва: Металлургия, 1982. – 480 с.

Завертайло М.В., Ямшинський М.М., Федоров Г.Є.

(КІІІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ)

РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ВИГОТОВЛЕННЯ ВІЛИВКІВ ІЗ ДИФЕРЕНЦІЙОВАНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ ПОВЕРХНІ

E-mail: zavertaylonikolay@gmail.com

Підвищення довговічності і експлуатаційної надійності деталей може досягатися керуванням процесу структуроутворення поверхневого шару, оскільки зношення та пошкодження литих деталей починається, переважно, з поверхні.

Критичний аналіз літератури показав, що автори і роботи, що описують процес поверхневого легування, мають різні точки зору щодо самого процесу і не задовольняють усіх потреб щодо технології отримання поверхні, методології нанесення покриття тощо.

Тому поставлена задача: визначення параметрів процесів поверхневого легування і інших методів виготовлення литих заготовок з заданими властивостями поверхні.

Робота полягає в тому, що розвиток машинобудування на сучасному етапі потребує збільшення довговічності служіння машин і механізмів, особливо в складних умовах експлуатації.

Для досягнення даної задачі необхідно використати один із способів підвищення зносостійкості литих деталей – поверхневе легування виливків або окремих їх частин безпосередньо в ливарній формі.

X Міжнародна науково-технічна конференція: Нові матеріали і технології в машинобудуванні-2018

Найбільш перспективними легувальними елементами, які сприяють підвищенню зносостійкості сплавів на основі заліза є хром, марганець, титан і бор, які були використані у роботі.

Але оскільки чисті метали дорогі і мають, переважно, високі температури плавлення, для приготування легувальних покриттів використовували феросплави.

За результатами роботи зроблено висновки:

1. Найбільш зносостійкими матеріалами є сплави на основі заліза, леговані такими елементами як марганець, хром, титан, бор, молибден, нікель та інші.

2. Наповнювачами легувальних покриттів можуть бути використані чисті метали, феросплави, лігатури або механічні суміші на їх основі: зносостійкого легування: марганець, феромарганець різних марок, ферохром високовуглецевий, феротитан, феробор та ін.

3. Вибрано феросплави та їх механічні суміші для приготування ливарного покриття.

4. Вибрано розмір стрижня для поверхневого легування, його матеріал, хімічний склад, та спосіб приготування.

5. Відпрацьовано технологію приготування та нанесення на поверхню стрижня легувального покриття.

6. Вибрано базовий сплав, технологію підготовки шихти для виготовлення сплаву, вибрано піч, визначено температурні параметри сплаву при заливанні в форми.

7. Вивчено процеси поверхневого легування литих деталей, які працюють в умовах інтенсивного зносу.

8. Визначено методику підготовки стрижня до проставлення в форму та методику оброблення та підготовки форми зі стрижнем до заливання рідкого металу.

8. В результаті проведених досліджень встановлено, що для зносостійкого поверхневого легування доцільно використовувати порошки високовуглецевого феромарганцю, феротитану, феробору, феромолібдену або їх суміші.

9. Визначено, що індекс забрудненості легованого шару неметалевими вкраплинами практично знаходиться на рівні з основою металу, а в багатьох випадках – значно менший.

Зайцев Б.В. Федоров Г.Є.

(КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ)

ПРОБЛЕМАТИКА ГІДРОАБРАЗИВНОГО ЗНОШУВАННЯ ТА ЛИВАРНІ СПЛАВИ ДЛЯ ПРОТИДІЇ ЙОМУ

E-mail: ut5uei@gmail.com

Мета дослідження: визначення параметрів процесів гідроабразивного зношування деталей і пошук складу ливарних сплавів для протидії рідині та абразивним частинкам, змішаним з рідиною.

Обрано дану тему через актуальність. Її актуальність полягає в тому, що розвиток гідромашинобудування потребує збільшення довговічності служіння машин і механізмів, особливо в складних умовах експлуатації при зменшенні витрат на їх обслуговування.

Підвищення довговічності і експлуатаційної надійності деталей може досягатися шляхом керуванням об'ємного складу сталі шляхом модифікування та легування.

Одним із таких способів підвищення зносостійкості литих деталей є модифікування рідкого матеріалу у ковші з можливим легуванням у ливарній формі.

Найбільш перспективними легувальними елементами, які сприяють підвищенню зносостійкості сплавів на основі заліза є хром, марганець, титан і бор.

Чисті метали використовувати недоцільно через високі температури плавлення. Для приготування легувальних покриттів доцільніше використовували феросплави.

Додавання в розплав інокуляторів, модифікатори 2-го роду, забезпечує підвищення однорідності і дисперсності литої структури, оптимізацію форми і розподілу неметалевих